

บทที่ 9 คลื่นกล

9.1 ธรรมชาติของคลื่น

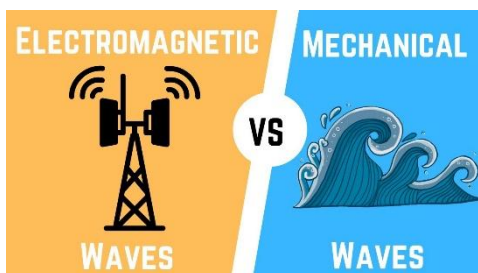
การถ่ายโอนพลังงานของคลื่นกล

คลื่น (Wave) คือ ลักษณะของการถูกรบกวนของเนื้อสารและส่งต่อพลังงานออกไปรอบ ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการสั่นหรือการถูกรบกวนของตัวกลาง เช่น การใช้มือจุ่มน้ำในขัน ในตุ่ม ในสระ ในแม่น้ำลำคลอง หรือขว้างวัตถุลงไปในน้ำ เราจะมีมองเห็นผิวน้ำกระเพื่อม แล้วแผ่เป็นวงกลมออกไปโดยรอบซึ่งลักษณะนี้ว่า คลื่นน้ำเกิดขึ้นบนผิวน้ำ

การส่งต่อพลังงานของคลื่นกลเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านตัวกลางต่าง ๆ โดยตัวกลางจะช่วยให้การถ่ายโอนพลังงานจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยตัวกลางอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ของตัวกลางในทิศทางเดียวกับคลื่น แต่มวลของตัวกลางจะสั่นในตำแหน่งเดิมและส่งผ่านพลังงานไปเรื่อย

ชนิดของคลื่น

1. จำแนกคลื่นตามความจำเป็นของการใช้ตัวกลางในการแผ่ โดยแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

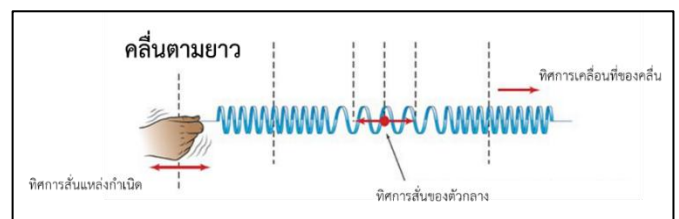


1.1 คลื่นกล (Mechanical Wave) เป็นคลื่นที่จำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการแผ่ คลื่นประเภทนี้ได้แก่ คลื่นน้ำ คลื่นน้ำในเส้นเชือก คลื่นเสียง

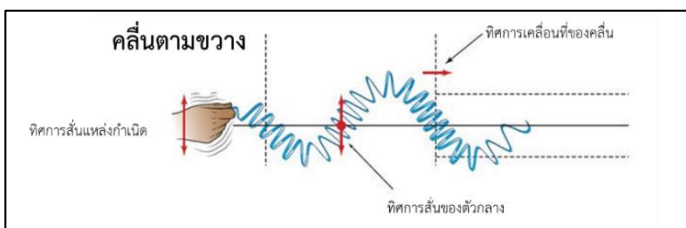
1.2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าในทิศทางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ได้แก่ คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ แสง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา

2. จำแนกคลื่นตามลักษณะของการสั่นของแหล่งกำเนิดหรือตามลักษณะการแผ่ การจำแนกประเภทนี้ แบ่งคลื่นออกได้ 2 ชนิด

2.1 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการสั่นของตัวกลางหรือทิศทาง ตั้งฉากกับทิศทางการแผ่ (ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น) เช่น คลื่นในเส้นเชือก คลื่นน้ำ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นตามขวางอาจมีทั้งคลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้



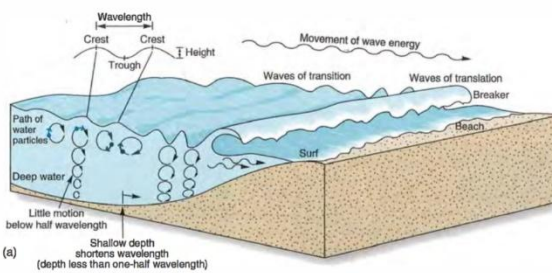
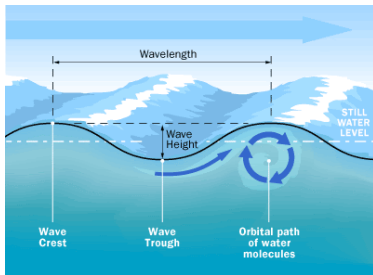
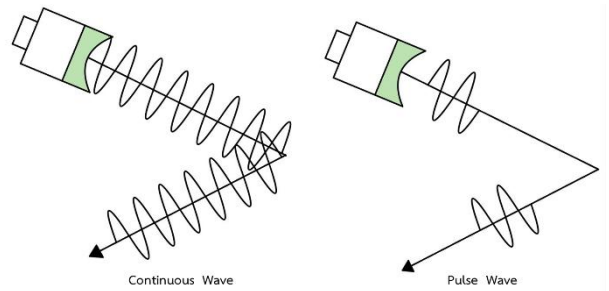
2.2 คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave) เป็นคลื่นที่มีทิศทางการสั่นของตัวกลางอยู่ในแนวขนานกับการเคลื่อนที่ของคลื่น เช่น คลื่นเสียง คลื่นที่เกิดจากการอัดและการขยายตัวในขดลวดสปริง และคลื่นตามยาวทุกชนิดจะเป็นคลื่นกลทั้งสิ้น



3. จำแนกตามความต่อเนื่องของแหล่งกำเนิดแบ่งออกได้ 2 ชนิด

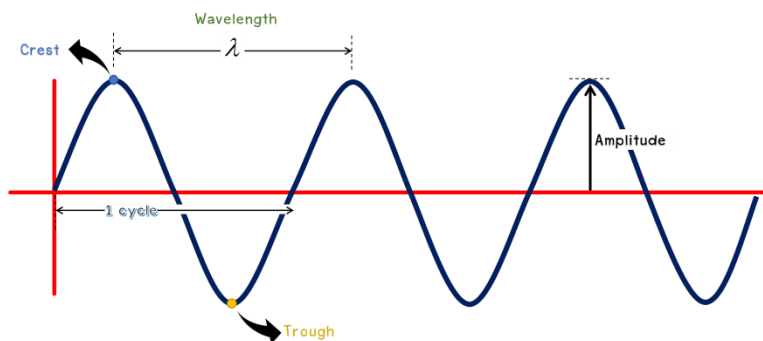
3.1 คลื่นดล (Pulse Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสั้น หรือรบกวนตัวกลางเป็นช่วงเวลาสั้นๆ แผลออกไปจำนวนน้อย ๆ เพียง 1 หรือ 2 คลื่น เช่นการนิ้วจุ่มที่ผิวน้ำเพียงครั้งหรือ 2 ครั้ง

3.2 คลื่นต่อเนื่อง (Continuous Wave) เป็นคลื่นที่เกิดจากแหล่งกำเนิดสั้น หรือรบกวนตัวกลางอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดคลื่นแผลออกไปเป็นขบวนอย่างต่อเนื่อง เช่นการเกิดคลื่นผิวน้ำเนื่องจากแหล่งกำเนิดติดกับมอเตอร์ หรือการสับตัดเชือกอย่างต่อเนื่อง



* คลื่นน้ำในทะเลจะเป็นลักษณะของคลื่นทั้งตามขวางและตามยาว

ส่วนประกอบของคลื่น



- **สันคลื่น (Crest)** เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางบวก
- **ท้องคลื่น (Trough)** เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น หรือเป็นตำแหน่งที่มีการกระจัดสูงสุดในทางลบ
- **แอมพลิจูด (Amplitude)** เป็นระยะการกระจัดมากที่สุด ทั้งค่าบวกและค่าลบ
- **ความยาวคลื่น (wavelength)** เป็นความยาวของคลื่นหนึ่งลูกมีค่าเท่ากับระยะระหว่างสันคลื่นหรือท้องคลื่นที่อยู่ติดกัน ความยาวคลื่นแทนด้วยสัญลักษณ์ λ (lambda) มีหน่วยเป็นเมตร (m)

คาบและความถี่

- **ความถี่ (frequency)** หมายถึง จำนวนลูกคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา แทนด้วยสัญลักษณ์ f มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (s^{-1}) หรือ เฮิรตซ์ (Hz)
- **คาบ (period)** หมายถึง ช่วงเวลาที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งใด ๆ ครบหนึ่งลูกคลื่น แทนด้วยสัญลักษณ์ T มีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (s)

$$\text{คาบ} = \frac{\text{เวลา}}{\text{จำนวนรอบ}}$$

และ

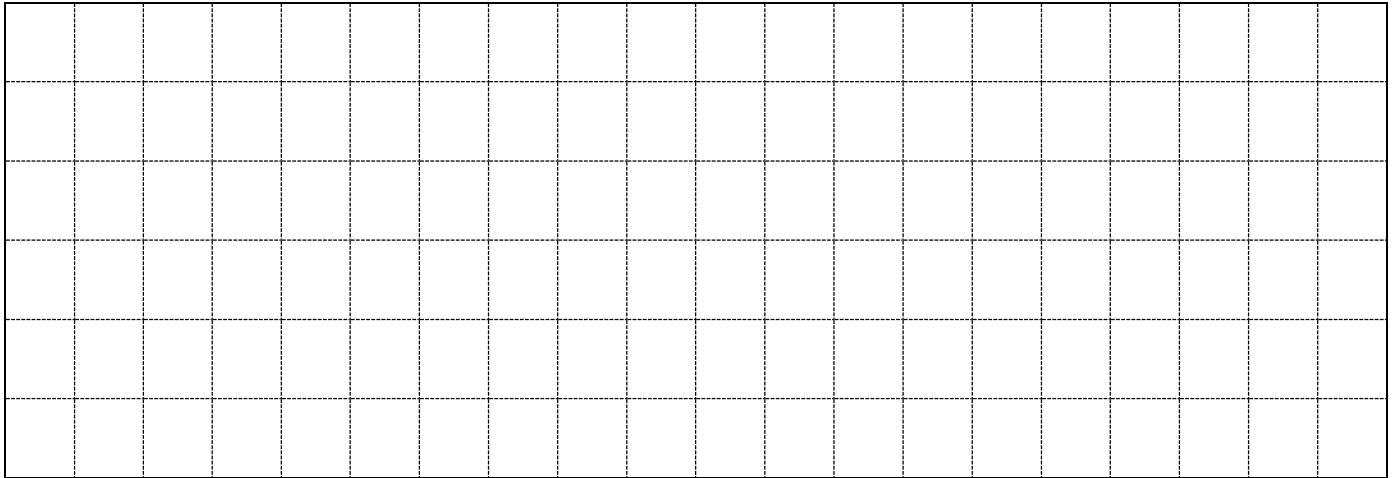
$$\text{ความถี่} = \frac{\text{จำนวนรอบ}}{\text{เวลา}}$$

ดังนั้น

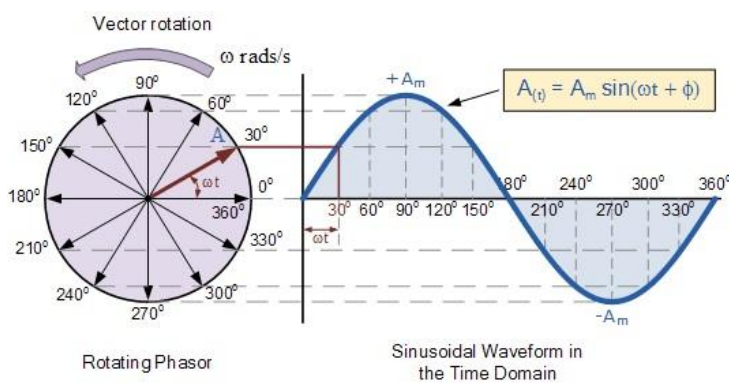
$$f = \frac{1}{T}$$

ทบทวน

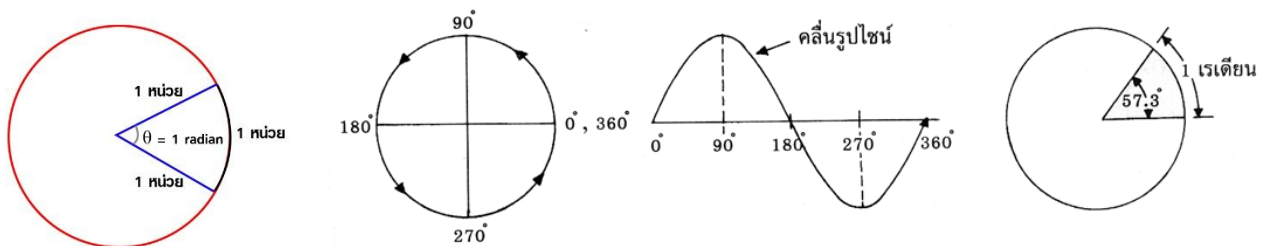
จงวาดรูปคลื่นที่มีความยาวคลื่น 2 เมตร แอมพลิจูด 20 เซนติเมตร จำนวน 3 ลูกคลื่น พร้อมระบุตำแหน่งของสันคลื่นและท้องคลื่น



การบอกตำแหน่งของคลื่น



ในการบอกตำแหน่งของคลื่นบนหน้าคลื่นใด ๆ จะบอกเป็นค่าของมุม เรียกว่า **เฟสของคลื่น** เฟสของคลื่นเป็นการบอกตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่น โดยบอกเป็นมุมในหน่วยองศาหรือเรเดียน ลักษณะของคลื่นสามารถนำมาเขียนในรูปของคลื่นรูปไซน์ได้ ดังนั้นตำแหน่งต่าง ๆ บนคลื่นรูปไซน์จึงระบุตำแหน่งเป็นมุมในหน่วยองศาหรือเรเดียนได้ ซึ่งมุม 1 เรเดียนเทียบได้เท่ากับ 57.3 องศา มุม 360 องศาเทียบได้เท่ากับ 2π เรเดียน



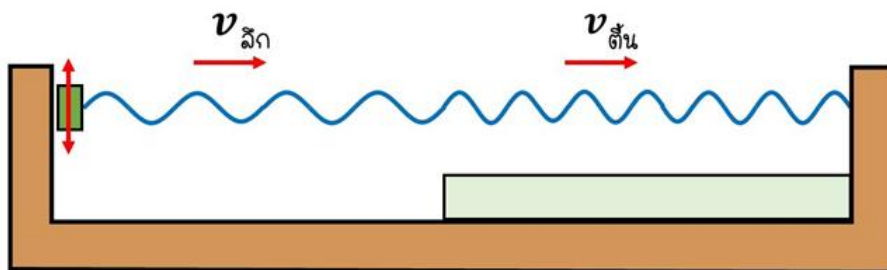
9.2 อัตราเร็วของคลื่น (wave speed)

อัตราเร็วของคลื่น (wave speed) อัตราเร็วในเชิงกลศาสตร์ แบ่งได้ดังนี้

1. อัตราเร็วคลื่น คือ อัตราเร็วของการถ่ายโอนพลังงานของคลื่น หรือเรียกว่าอัตราเร็วเฟส เป็นอัตราเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ไปแบบเชิงเส้น ซึ่งอัตราเร็วคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน สมการที่ใช้

$$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = f\lambda \quad \Rightarrow \quad v = f\lambda$$

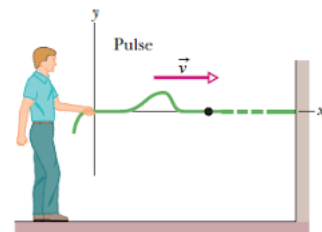
2. อัตราเร็วคลื่นในน้ำตื้น ($v \ll \lambda$) ขึ้นกับความลึกของน้ำ ถ้าให้น้ำลึก d จะได้ความสัมพันธ์ $v = \sqrt{gd}$



3. อัตราเร็วคลื่นในเส้นเชือก ขึ้นอยู่กับแรงตึงเชือก (T) และค่าคงตัวของเชือก (μ) ซึ่งเป็นค่ามวล (m) ต่อความยาวเชือก (ℓ)

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

โดยที่ $\mu = \frac{m}{\ell}$



ตัวอย่าง

1. คลื่นกลต่อเนื่องที่แผ่ผ่านตัวกลางหนึ่ง ด้วยความถี่ 260 เฮิรตซ์ และความยาวคลื่น 1.3 เมตร คลื่นนี้มีอัตราเร็วเท่าใด

ก. คลื่นนี้จะใช้เวลานานเท่าใด จึงจะเคลื่อนที่ได้ ระยะทาง 84.5 เมตร ([เฉลย](#))

ข. คาบของคลื่นมีค่าเท่าใด ([เฉลย](#))

2. เรือลำหนึ่งจอดหยุดนิ่งที่จุดหนึ่งบนผิวน้ำ ต่อมาคลื่นต่อเนื่องที่ทำให้เรือเคลื่อนที่ขึ้นลง ถ้าระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดของคลื่นที่อยู่ติดกันมีค่าเป็น 12.0 เมตร และคลื่นมีอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที จะใช้เวลานานเท่าใด ที่เรือจะเคลื่อนที่จากจุดสูงสุดไปถึงจุดที่ต่ำที่สุด [\(เฉลย\)](#)

3. เชือกยาว 10 เมตร มีมวล 0.25 กิโลกรัม ต้องดึงให้ตึงเท่าใด เมื่อสลับเชือกจะทำให้เกิดคลื่นที่มีความเร็ว 30 เมตรต่อวินาทีได้ [\(เฉลย\)](#)

แบบฝึกหัด 9.1

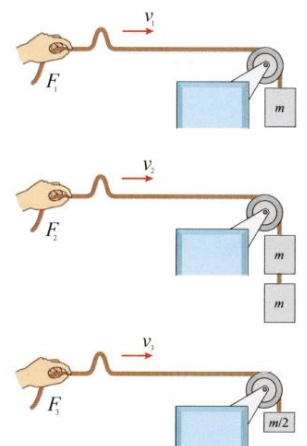
1. คลื่นในเส้นเชือกกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย ที่จุด A และ B ถูกแต้มสีดำไว้ ดังรูป อนุภาคของเชือกตรงจุด A และจุด B กำลังจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด [\(เฉลย\)](#)

* แนววิเคราะห์ อนุภาคของคลื่นไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่น

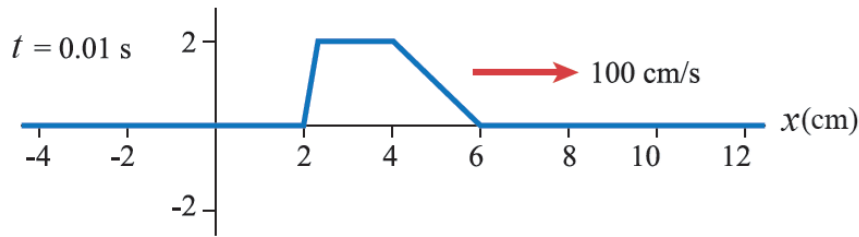
1. A ขึ้น B ลง
2. A ลง B ขึ้น
3. A ซ้าย B ขวา
4. A ขวา B ซ้าย



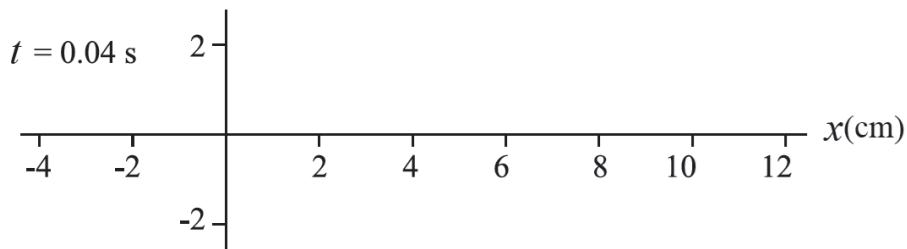
2. พิจารณาเชือก 3 เส้นที่เหมือนกัน ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับตุ้มน้ำหนักที่มีมวลต่างกันผ่านรอกดังแสดงในรูป ปลายอีกด้านหนึ่ง มีมือดึงอยู่ เมื่อมือที่จับเชือกแต่ละเส้น สลับขึ้นลง 1 ครั้ง จะเกิดคลื่นดลเคลื่อนที่ไปตามเชือก จงเรียงลำดับอัตราเร็วคลื่น [\(เฉลย\)](#)



3. คลื่นกลในตัวกลางหนึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยอัตราเร็ว 100 เซนติเมตรต่อวินาที (เฉลย)

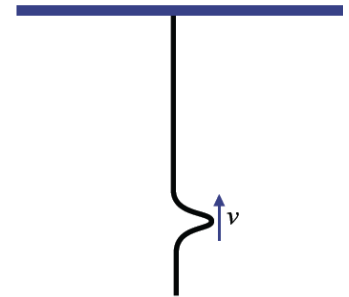


จงวาดรูปร่างของคลื่นที่เวลา $t = 0.04$ วินาที



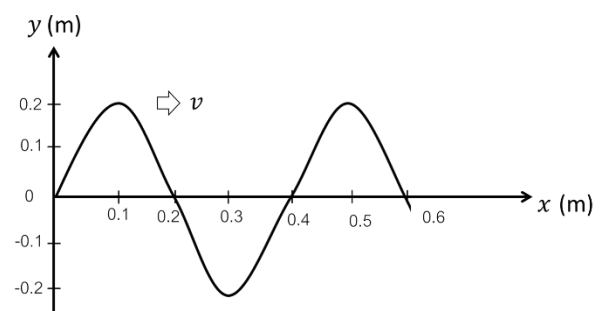
4. เชือกมีความหนาแน่นเชิงเส้นสม่ำเสมอ ถูกนำมาห้อยลงมาจากเพดานดังรูป เมื่อเราสะบัดปลายเชือกด้านล่างให้เกิดคลื่น คลื่นนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นไปตามแนวเชือก ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ขึ้นนั้น อัตราเร็วของคลื่นจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ (เฉลย)

1. เร็วขึ้น
2. ช้าลง
3. คงที่
4. ไม่สม่ำเสมอ



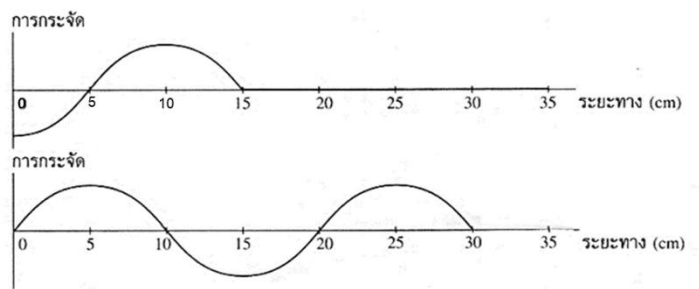
5. จากรูป คือ คลื่นต่อเนื่องในเส้นเชือกที่ขึงตึง ถ้าความถี่ของคลื่นเท่ากับ 2 Hz อัตราเร็วของคลื่นในเชือกนี้จะเป็นเท่าใด (เฉลย)

1. 0.8 m/s
2. 0.6 m/s
3. 0.4 m/s
4. 0.2 m/s



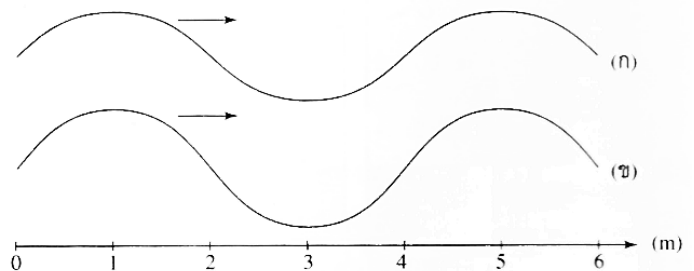
6. คลื่นในเส้นเชือกยาว เมื่อเวลาหนึ่งเป็นดังรูป ก หลังจากนั้น 0.5 วินาที เป็นดังรูป ข ความถี่ของคลื่นในเส้นเชือกเป็นกี่เฮิรตซ์ (เฉลย)

1. 3.0 2. 2.5
3. 2.5 4. 1.5

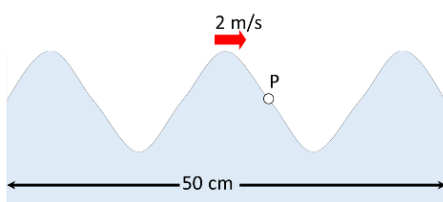


7. คลื่นต่อเนื่องในเส้นเชือกมีลักษณะดังต้นดังรูป ก เมื่อเวลาผ่านไป 0.4 วินาที คลื่นจะมีลักษณะตามรูป ข อยากทราบว่าคลื่นมีอัตราเร็วอย่างน้อยที่สุดเท่าใด (เฉลย)

1. 4 m/s 2. 6 m/s
3. 8 m/s 4. 10 m/s



8. จากรูป คลื่นผิวน้ำกำลังเคลื่อนที่ทางขวามือด้วยอัตราเร็ว 2 เมตรต่อวินาที มีเม็ดโฟมลอยอยู่ที่จุด P เมื่อเวลาผ่านไปเล็กน้อยเม็ดโฟมจะเคลื่อนที่อย่างไร (เฉลย)



1. เคลื่อนที่ไปทางขวามือด้วยอัตราเร็ว 2 m/s
2. เคลื่อนที่ทางซ้ายมือด้วยอัตราเร็ว 2 m/s
3. เคลื่อนที่ขึ้นโดยมีขนาดของความเร็วลดลง
4. เคลื่อนที่ขึ้นโดยมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้น

9. จากข้อที่ 8 ความถี่ของคลื่นน้ำเป็นเท่าใด (เฉลย)

1. 2 Hz 2. 5 Hz 3. 10 Hz 4. 25 Hz

10. จากข้อที่ 8 จะใช้เวลาอย่างน้อยที่สุดเท่าใด เม็ดโฟมจึงจะมีตำแหน่งเหมือนเดิม (เฉลย)

1. 0.5 วินาที 2. 0.2 วินาที 3. 0.1 วินาที 4. 0.05 วินาที

11. เชือกเส้นหนึ่งยาว 2 เมตร มีมวล 15 กรัม ถูกตึงให้ตึงด้วยแรง 12 นิวตัน จงหาอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือก ([เฉลย](#))

1. 10 m/s 2. 20 m/s 3. 30 m/s 4. 40 m/s

12. คลื่นหน้าตรงหนึ่งมีอัตราเร็ว 12 เมตร/วินาที มีความยาวคลื่น 20 เมตร เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุด ๆ หนึ่ง จะเกิดคลื่นกี่ลูกในเวลา 1 นาที ([เฉลย](#))

1. 9 ลูก 2. 18 ลูก 3. 27 ลูก 4. 36 ลูก

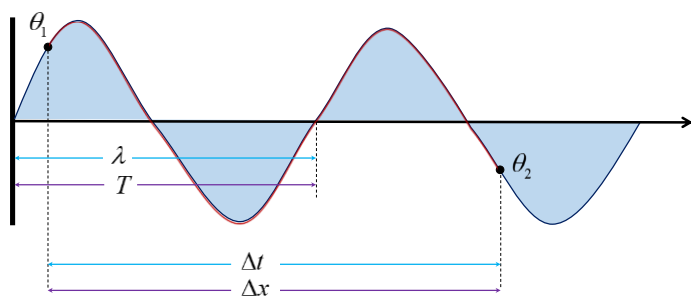
13. คลื่นน้ำเข้ากระทบชายฝั่งโดยอัตราเร็วคลื่น 40 เมตร/วินาที โดยความยาวคลื่น 240 เมตร จงหาเวลาที่คลื่นแต่ละลูกเข้ากระทบชายฝั่ง ([เฉลย](#))

1. 6 วินาที 2. 10 วินาที 3. 12 วินาที 4. 16 วินาที

14. คลื่นกลุ่มหนึ่งถูกปล่อยออกมา 1 วินาที โดยมีอัตราเร็วคลื่น 36 เมตร/วินาที และความยาวคลื่น 0.1 เมตร จงหาจำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้น ([เฉลย](#))

1. 120 ลูก 2. 240 ลูก 3. 300 ลูก 4. 360 ลูก

การหาความต่างเฟสของคลื่น



โดยที่ θ_1 คือ เฟสที่ 1
 θ_2 คือ เฟสที่ 2
 λ คือ ความยาวคลื่น
 T คือ คาบ
 Δt คือ ช่วงเวลา
 Δx คือ ระยะห่างระหว่าง θ_1 และ θ_2

$$\text{จาก } \omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow 2\pi f = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \Rightarrow \frac{2\pi}{T} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

เมื่อทราบช่วงเวลา

$$\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T}$$

และ เมื่อทราบระยะห่าง

$$\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

15. คลื่นผิวน้ำกระจายออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีความถี่ 10 เฮิรตซ์ อัตราเร็วของคลื่นน้ำ 30 เซนติเมตร/วินาที หากสันคลื่น 2 คลื่นอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะ 60 และ 72 เซนติเมตร ตามลำดับ ห่างกันกี่ลูกคลื่น ([เฉลย](#))

1. 4 ลูกคลื่น 2. 5 ลูกคลื่น 3. 6 ลูกคลื่น 4. 7 ลูกคลื่น

16. จุด 2 จุดบนคลื่นขบวนหนึ่ง อยู่ห่างกัน 3 เมตรมีเฟสต่างกัน 240 องศาแสดงว่าคลื่นขบวนนี้มีความยาวคลื่นเท่าใด ([เฉลย](#))

1. 1.5 เมตร 2. 3.0 เมตร 3. 4.5 เมตร 4. 6.0 เมตร

ความรู้เพิ่มเติม

คลื่นผิวน้ำ

การเกิดคลื่นผิวน้ำต้องมีตัวกลาง แหล่งกำเนิด โดยในที่นี้ตัวกลางคือน้ำ เช่น โยนก้อนหินลงในน้ำ จะทำให้ผิวน้ำกระเพื่อม ซึ่งทำให้เกิดคลื่นน้ำ เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดกระจายออกไปแผ่เป็นวงกลมออกไปโดยรอบ ซึ่งลักษณะนี้ว่า คลื่นน้ำเกิดขึ้นบนผิวน้ำ

ในการศึกษาคลื่นผิวน้ำและพฤติกรรมของคลื่นน้ำ จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ภาตคลื่น (Ripple Tank)

ส่วนประกอบของภาตคลื่น

1. ตัวภาต โดยกันภาตเป็นแผ่นพลาสติกใสหรือแก้ว เพื่อให้แสงส่องลงสู่ได้ภาตได้
2. ตัวกำเนิดคลื่น มีปุ่มปรับความถี่ได้โดยการทำงานของมอเตอร์
3. โคมไฟ อยู่ด้านบนภาตคลื่น เพื่อให้แสงส่องจากด้านบนลงมา

การทดลอง

1. ในการทดลองคลื่นน้ำในภาตคลื่นจะดูจากความเข้มแสงที่ผ่านคลื่นในภาตคลื่น ทำให้เกิดเงาที่พื้นใต้ภาตคลื่น

2. เมื่อปรับให้มอเตอร์หมุนด้วยความถี่ค่าหนึ่ง คานและปุ่มกลมที่ติดอยู่กับคานจะสั่นขึ้นลงกระทบผิวน้ำ

- ผิวน้ำในส่วนที่โค้งขึ้น เหมือนแสงตกกระทบเลนส์นูน แสงที่ผ่านลงด้านล่างจะเกิดการรวมแสงกัน ทำให้เกิดแถบสว่างบนแผ่นกระดาษขาวที่วางอยู่ใต้ภาตคลื่น

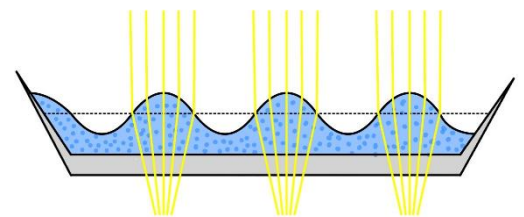
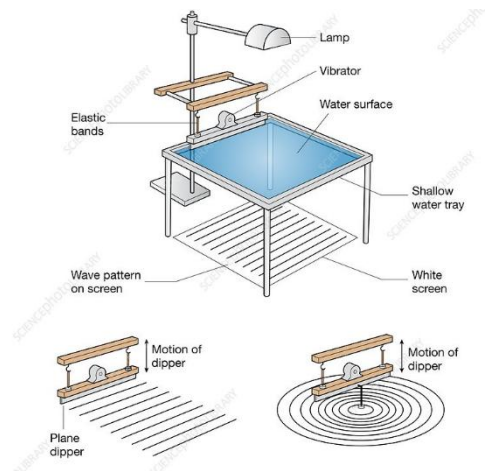
- ผิวน้ำในส่วนที่โค้งลงจะเหมือนแสงตกกระทบเลนส์เว้า แสงที่ผ่านลงด้านล่างจะเกิดการกระจายแสงทำให้เกิดแถบมืดบนแผ่นกระดาษ

3. ภาพของคลื่นผิวน้ำที่ปรากฏบนกระดาษขาวใต้ภาตคลื่น คือ แถบมืดและแถบสว่างสลับกันไปดังรูป

- จุดกึ่งกลางของแถบมืดแสดงตำแหน่งของท้องคลื่น

- จุดกึ่งกลางของแถบสว่างแสดงตำแหน่งของสันคลื่น

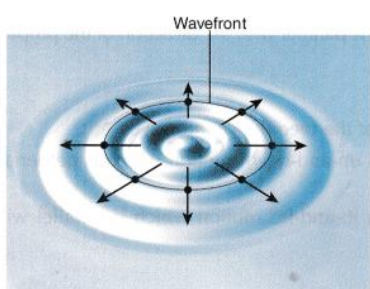
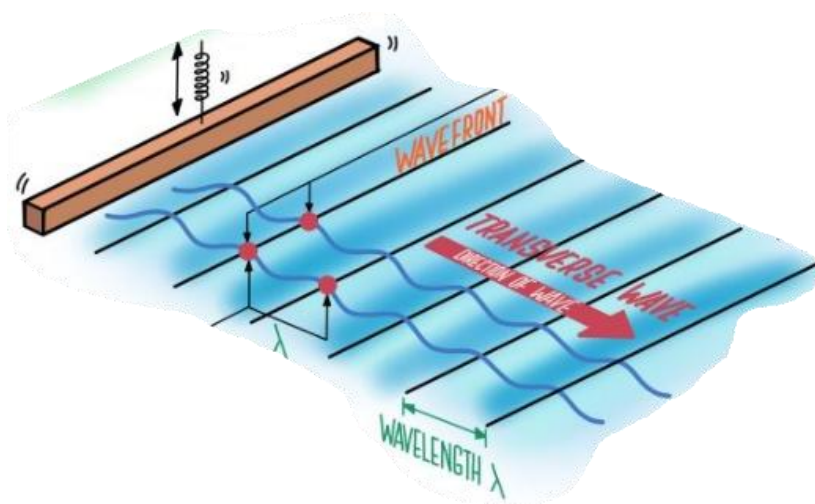
4. ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของแถบสว่าง(สันคลื่น)ที่หรือระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางของแถบมืด(ท้องคลื่น) ที่อยู่ติดกัน คือ ความยาวคลื่น (λ)



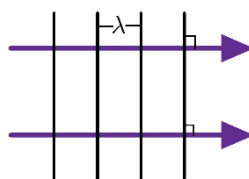
การทดลองเรื่อง ภาตคลื่น

หน้าคลื่น (Wave front)

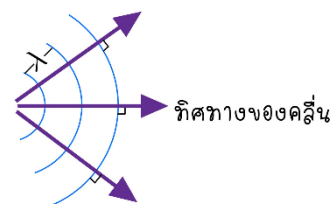
หน้าคลื่น คือ แนวทางเดินของตำแหน่งบนคลื่นที่มีเฟสเท่ากัน เช่น แนวเส้นกลางของแถบสว่างซึ่งเกิดจากแนวของสันคลื่น และแนวเส้นกลางของแถบมืด ซึ่งเกิดจากแนวของท้องคลื่น ต่างก็เป็นหน้าคลื่นแต่โดยทั่วไป เมื่อกล่าวถึงหน้าคลื่น เราจะใช้แนวใดแนวหนึ่งเพียงแนวเดียว (แนวสันคลื่นหรือแนวท้องคลื่น) ดังรูป



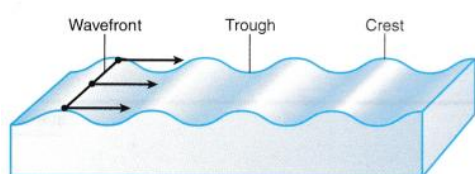
(a) Circular waves



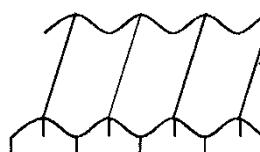
คลื่นหน้าตรง



คลื่นหน้าวงกลม



(b) Plane waves

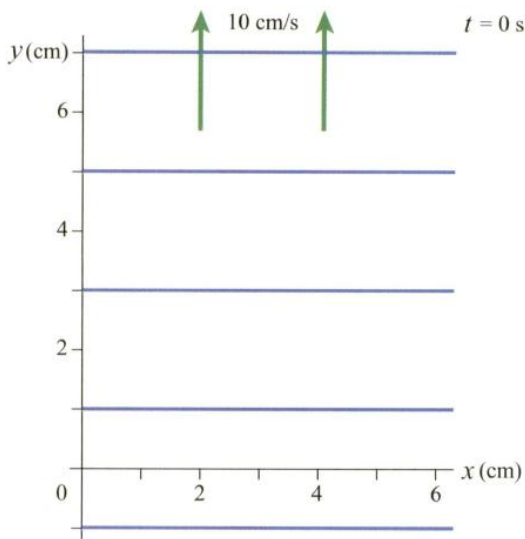


ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

หน้าคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

- หน้าคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นจะต้องตั้งฉากกันเสมอ
- ระยะห่างของหน้าคลื่นที่อยู่ติดกัน คือ ความยาวคลื่น (λ)

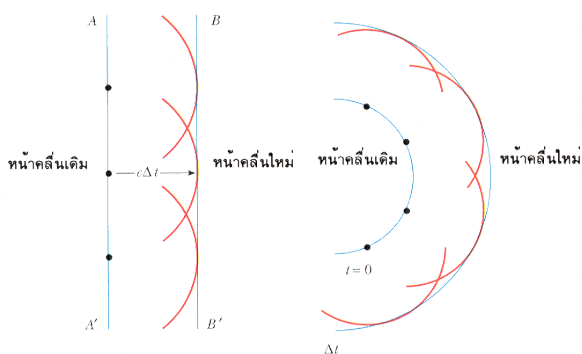
ตัวอย่าง พิจารณาหน้าคลื่นระนาบ ณ เวลาเริ่มต้น $t = 0$ วินาทีที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปด้านขวา ความยาวคลื่นของคลื่นนี้มีค่าเท่าใด แนวของสันคลื่นกับแนวของท้องคลื่นอยู่ที่ ค่า y เท่าใดบ้าง



9.3 หลักการที่เกี่ยวข้องกับคลื่น

9.3.1 หลักการของ ฮอยเกนส์

หลักการของ ฮอยเกนส์ กล่าวว่า แต่ละจุดของหน้าคลื่นที่กำลังเคลื่อนตัว จะกระทำตัวเสมือนเป็นจุดศูนย์กลางกำเนิดคลื่นใหม่ และหน้าคลื่นที่เคลื่อนตัวออกไปจะเสมือนกับเป็นผลรวมของคลื่นย่อย ซึ่งกำเนิดขึ้นจากจุดที่หน้าคลื่นเดิมได้วิ่งผ่าน มุมมองนี้มีส่วนช่วยให้สามารถทำความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคลื่น เช่น การกระเจิงของคลื่น

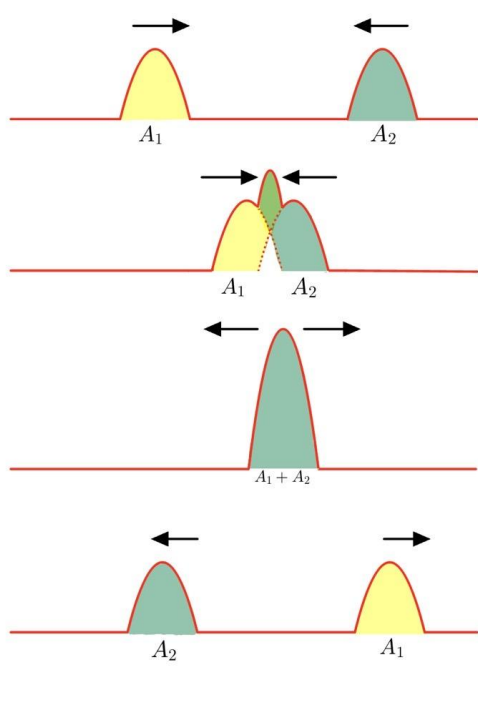


ตัวอย่าง เช่น ถ้าห้องสองห้องนั้นเชื่อมต่อกันด้วยทางเดิน และมี การกำเนิดเสียงที่มุมหนึ่งของห้องหนึ่ง ผู้ที่อยู่ในอีกห้องหนึ่งจะ สามารถได้ยินเสียงนี้ ราวกับว่าเสียงนี้มีจุดกำเนิดอยู่ที่ทางเดิน ซึ่งใน ความเป็นจริงการสั่นไหวของอากาศที่ทางเดินนี้เป็นแหล่งกำเนิด เสียงนี้นั่นเอง

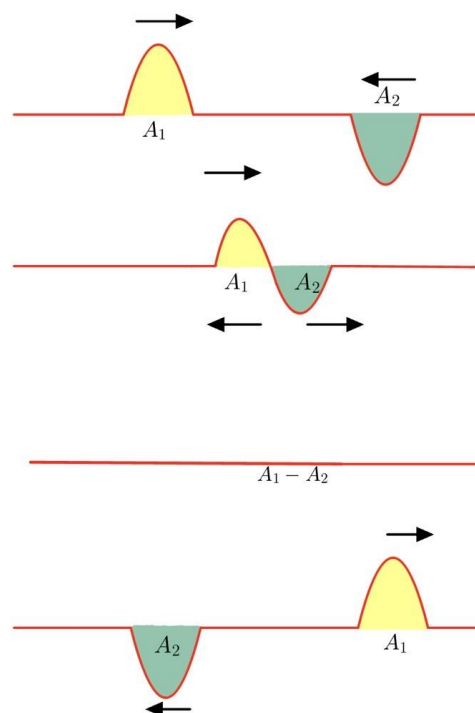
9.3.2 หลักการซ้อนทับของคลื่น

เมื่อมีคลื่นสองลูกเคลื่อนที่สวนทางกัน จะเกิดการรวมกันในลักษณะเฉพาะแบบคลื่น ดังนี้

1. สันคลื่นลูกหนึ่งรวมกับสันคลื่นอีกลูกหนึ่ง ทำให้สันคลื่นรวมมีค่าเพิ่มขึ้น หรือ แอมพลิจูดรวมเพิ่มขึ้น เรียกว่า **การรวมกันแบบเสริม** ท้องคลื่นลูกหนึ่งรวมกับท้องคลื่นอีกลูกหนึ่ง ทำให้ท้องคลื่นมีแอมพลิจูดรวมเพิ่มขึ้นก็เป็นการรวมกันแบบเสริมเหมือนกัน
2. สันคลื่นลูกหนึ่งรวมกับท้องคลื่นอีกลูกหนึ่งจะทำให้แอมพลิจูดคลื่นรวมลดลง เรียกว่า **การรวมกันแบบหักล้าง**

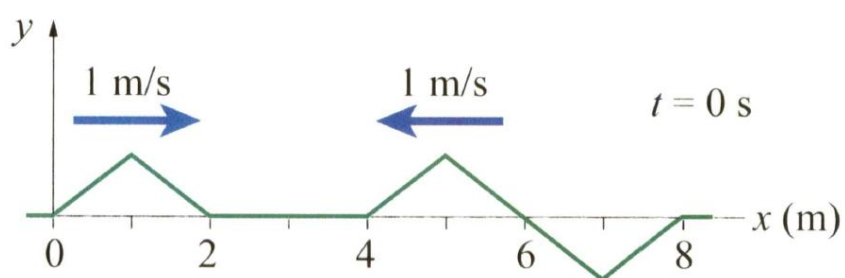


การรวมกันแบบเสริม

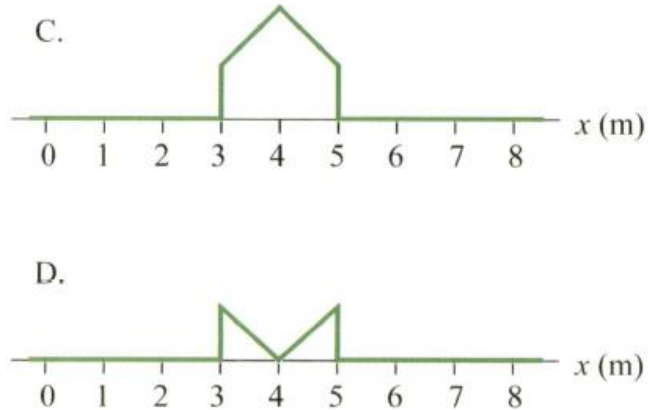
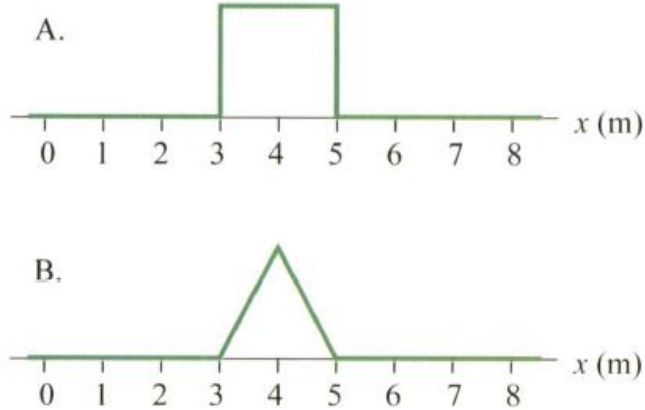
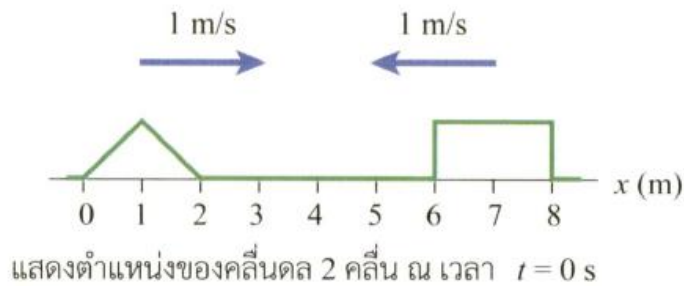


การรวมกันแบบหักล้าง

ตัวอย่าง มีคลื่นดล 2 คลื่น เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางเดียวกันแต่ในทิศทางตรงข้ามกัน โดยอัตราเร็วของคลื่นมีค่าเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาทีและมีรูปร่างดังแสดงในรูปด้านล่าง จงใช้หลักการซ้อนทับ วาดรูปร่างของคลื่นรวมเมื่อเวลาผ่านไป 2 วินาที 3 วินาทีและ 4 วินาที



ตัวอย่าง พิจารณาคลื่น 2 คลื่นที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้าม โดยทั้งคู่มีอัตราเร็วเท่ากันเท่ากับ 1.0 เมตรต่อวินาที โดยมีการกระจัดของตัวกลางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาเริ่มต้นเป็นดังรูป รูปในตัวเลือกข้อใดแสดงการกระจัดของตัวกลางได้ถูกต้องหลังจากเวลาผ่านไปแล้ว 3.0 วินาที จากตอนเริ่มต้น



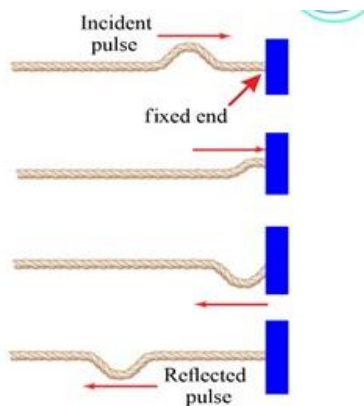
9.4 พฤติกรรมของคลื่น

การที่คลื่นกลมีการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งนั้นต้องผ่านตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นตัวกลางชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยคลื่นจะแสดงสมบัติของคลื่น 4 ประการ คือ

1. การสะท้อนของคลื่น (Reflection)
2. การหักเหของคลื่น (Refraction)
3. การแทรกสอดของคลื่น (Interference)
4. การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

9.4.1 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

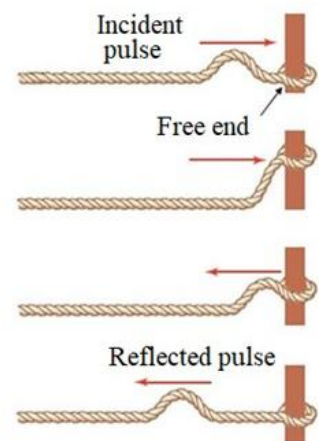


1. การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกเมื่อจุดสะท้อนปลายถูกตรึงแน่น

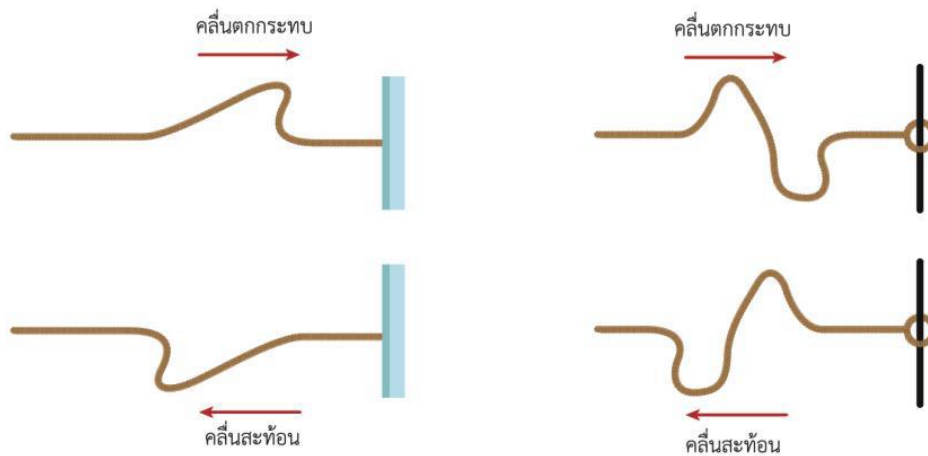
กรณีที่นำปลายลวดสปริงยึดติดไว้ด้านหนึ่ง ดึงปลายลวดสปริงอีกด้านให้ยืดออกจนสปริงมีความยาวมากขึ้น สะบัดปลายลวดสปริง จะทำให้เกิดคลื่นเคลื่อนที่ไปอีกปลายด้านหนึ่งแล้วสะท้อนกลับ ดังรูป โดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระทบ

2. การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกเมื่อจุดสะท้อนที่ปลายอิสระ

กรณีที่นำปลายลวดสปริงที่คล้องกับห่วงแล้วคล้องกับเสา ดึงปลายลวดสปริงอีกด้านให้ยืดออก ออกแรงสะบัดปลายลวดสปริง คลื่นตกกระทบจะเคลื่อนที่เข้าหาเสาและสะท้อนกลับมา โดยคลื่นสะท้อนจะมีเฟสเดียวกับกับคลื่นตกกระทบ

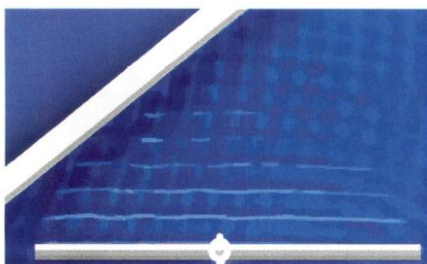
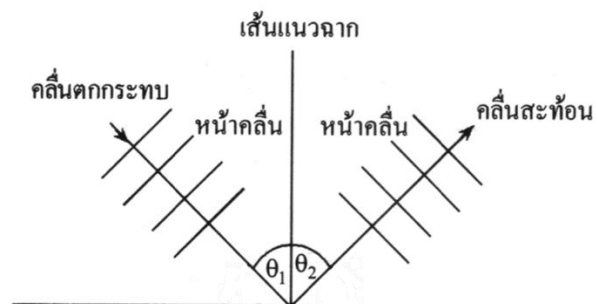
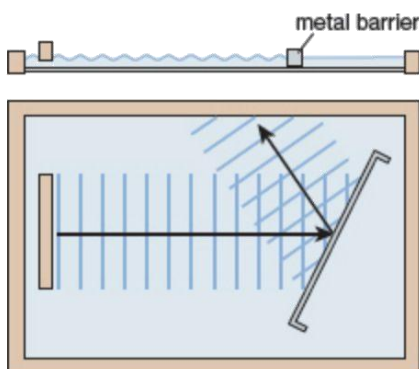


การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่ไม่สมมาตร

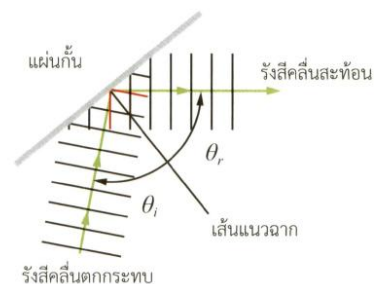


การสะท้อนของคลื่นที่ผิวน้ำ

เมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่ไปตกกระทบกับวัตถุที่กีดขวางทางเดินเกิดการสะท้อนของคลื่นโดยโมเลกุลน้ำที่ผิวตัวสะท้อนจะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามคลื่น โดยการสะท้อนของผิวน้ำเหมือนกับการสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือกที่จุดอิสระ ทำให้เฟสของคลื่นสะท้อนที่ผิวน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลง



ก.



ข.

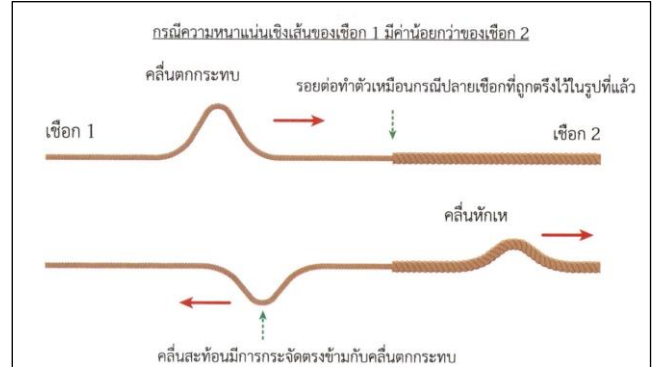
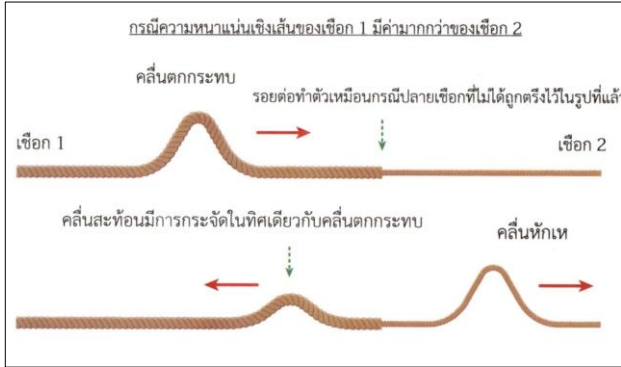
รูปแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน

กฎการสะท้อน

- มุมตกกระทบ (θ_1) = มุมสะท้อน (θ_2)
- คลื่นตกกระทบ คลื่นสะท้อนและเส้นแนวฉาก จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน

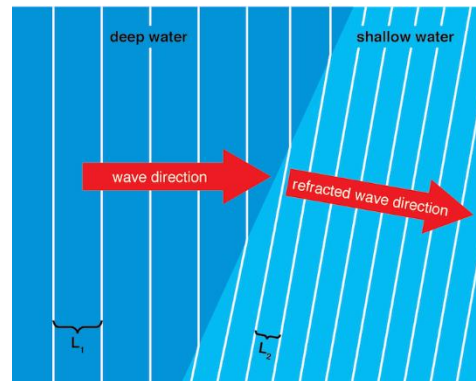
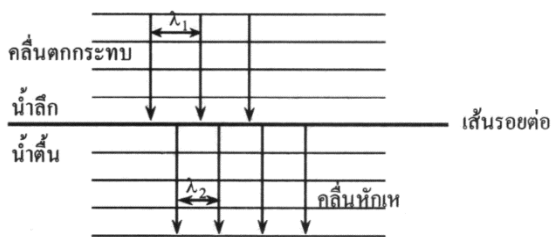
9.4.2 การหักเหของคลื่น (Refraction)

คลื่นจะมีการหักเหเมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติต่างกัน ทำให้ความเร็วและความยาวคลื่นเกิดการเปลี่ยนแปลง

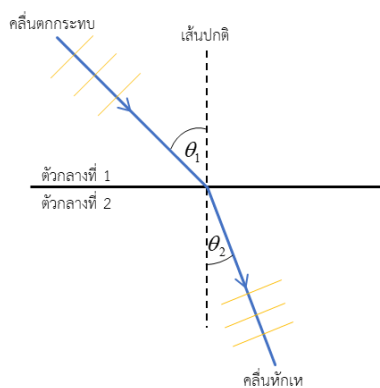


ตำแหน่งที่เกิดการหักเห คือ ตรงจุดรอยต่อระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด โดยคลื่นที่ผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลาง เรียกว่า คลื่นหักเห (Refracted)

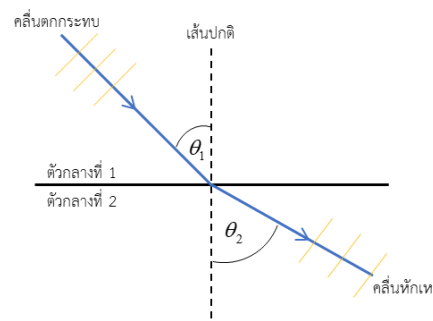
1. การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำจากบริเวณน้ำลึกไปน้ำตื้น โดยหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อของตัวกลาง หรือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลาง



2. การเคลื่อนที่ของคลื่นผิวน้ำ โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบไม่ตั้งฉากกับรอยต่อของตัวกลาง



การหักเหแบบเข้าหาเส้นปกติ



การหักเหแบบออกจากเส้นปกติ

สูตรการคำนวณการหักเหของคลื่น

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

เมื่อ $\theta_2 \neq 0$

โดยที่ θ_1, θ_2 คือ มุมตกกระทบและมุมหักเหของคลื่นตามลำดับ

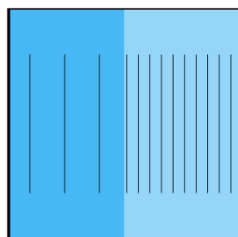
v_1, v_2 คือ อัตราเร็วของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

λ_1, λ_2 คือ ความยาวคลื่นของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

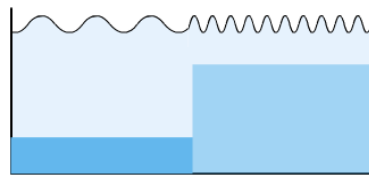
n_1, n_2 คือ ดัชนีการหักเหของคลื่นตกกระทบ①และคลื่นหักเห②ตามลำดับ

** ให้คลื่นมาจากตัวกลางที่ ① ไปสู่ตัวกลางที่ ② เสมอ

เรียก $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$ หรือ $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ ว่า กฎของสเนลล์



Top view

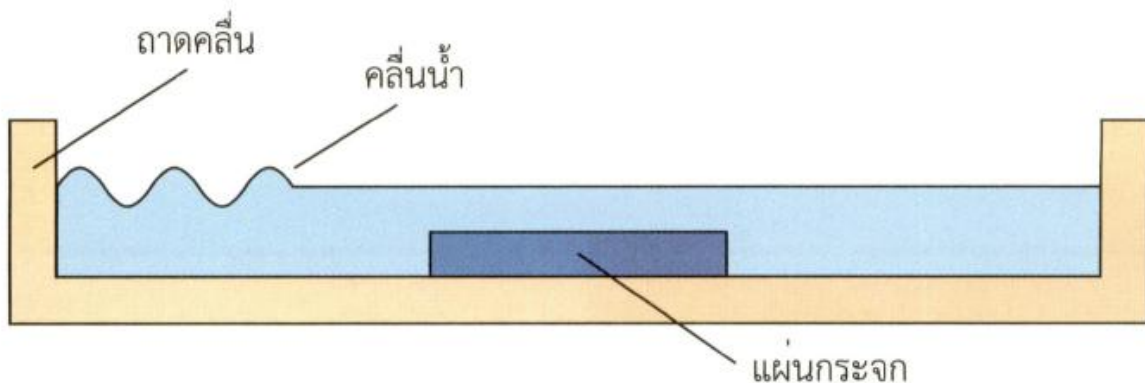


Side view

การหักเหของคลื่น ในน้ำลึกและน้ำตื้น

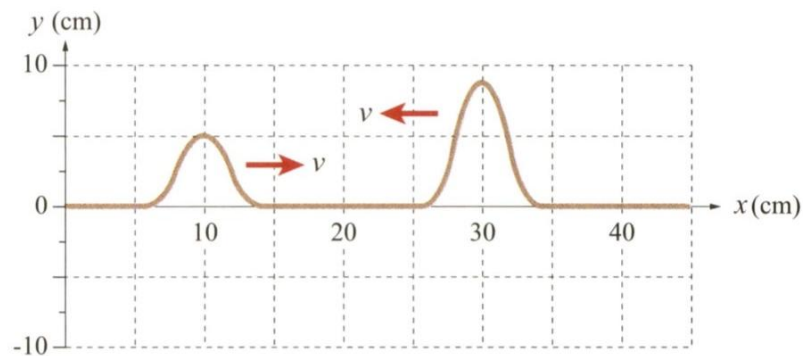


ชวนคิด คลื่นผิวน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณน้ำลึกไปยังน้ำตื้น จะเกิดการสะท้อนและการหักเหหรือไม่ เพราะเหตุใด



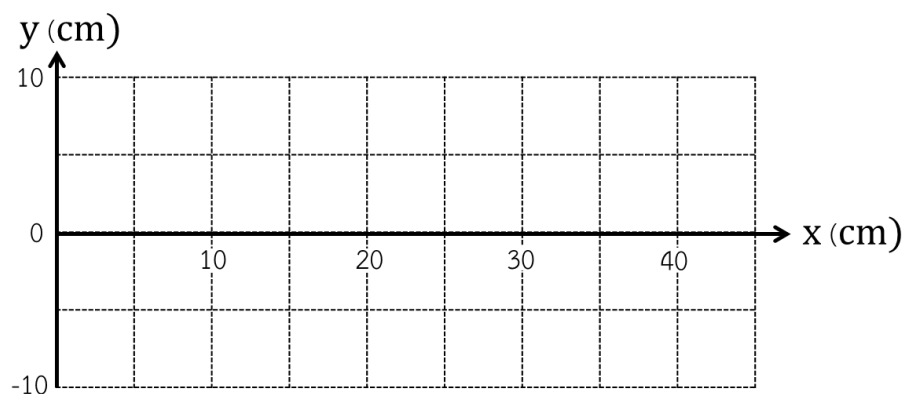
แบบฝึกหัด

17. ที่เวลา $t = 0$ คลื่นเคลื่อนที่เข้าหากันด้วยความเร็ว 1.0 เมตรต่อวินาที

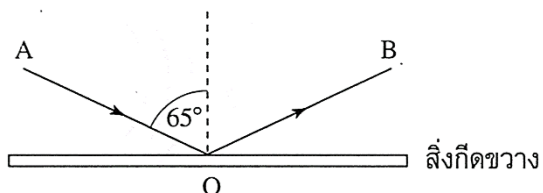


- ก. อีกนานเท่าไร คลื่นจะซ้อนทับกันพอดี (เฉลย)

- ข. จงวาดภาพการรวมกันของคลื่นที่เวลา $t = 0.1$ วินาที และ $t = 0.2$ วินาที (เฉลย)



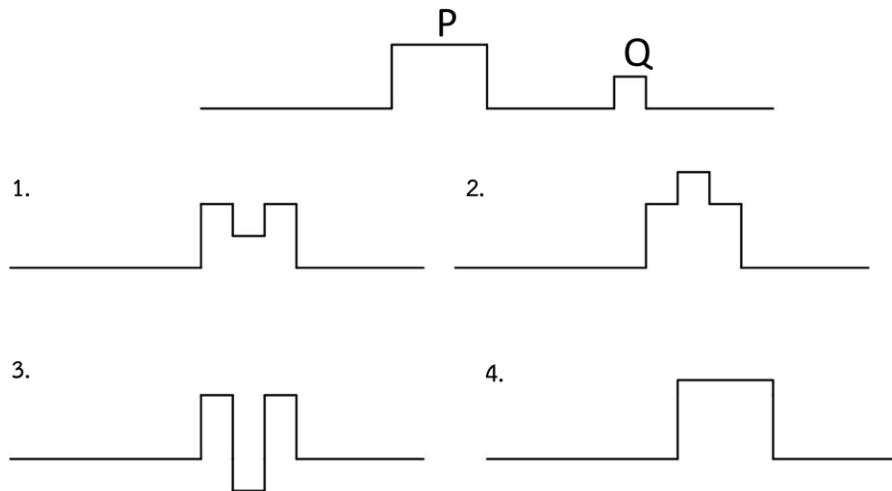
18. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ตามแนว AO แล้วสะท้อนไปในแนว OB ดังรูป หน้าคลื่นสะท้อนจะมีมุมเปลี่ยนไปจากหน้าคลื่นตกกระทบเท่าใด (เฉลย)



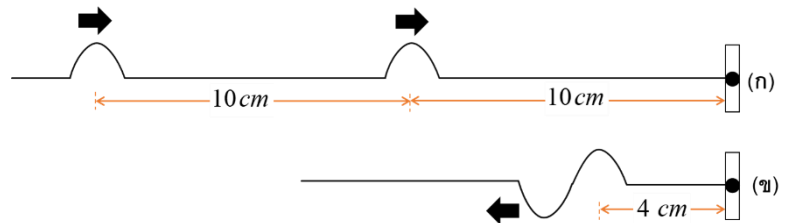
1. 50°
2. 65°
3. 100°
4. 130°

19. จากข้อที่แล้ว จงพิสูจน์ว่าถ้าหมุนสิ่งกีดขวางรอบแกนที่เสียบตั้งฉากกับกระดาษตรงจุด O โดยหมุนทวนเข็มนาฬิกาไปจากเดิม θ องศา คลื่นสะท้อนจะเปลี่ยนไปจากแนวคลื่นสะท้อนเดิม θ องศา (เฉลย)

20. จากรูป คลื่น P และ Q เคลื่อนที่สวนกัน ขณะที่จุด P และ Q ซ้อนกัน รูปคลื่นจะมีลักษณะตามข้อใด (เฉลย)



21. คลื่นดลจากแหล่งกำเนิดเดียวกันในเส้นเชือก 2 ชุดห่างกัน 10 เซนติเมตรดังรูป ก เมื่อเวลาผ่านไป 0.2 วินาที คลื่นดลมีลักษณะดังรูป ข จงคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือก (เฉลย)



1. 1.0 m/s
2. 0.9 m/s
3. 0.8 m/s
4. 0.7 m/s

22. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น โดยหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับบริเวณรอยต่อคลื่นในบริเวณทั้งสองมีค่าใดบ้างที่เท่ากัน (เฉลย)

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| ก. ความถี่ของคลื่น | ข. ความยาวคลื่น |
| ค. อัตราเร็วของคลื่น | ง. ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น |
| 1. ข้อ ก และ ข | 2. ข้อ ข และ ค |
| 3. ข้อ ค และ ง | 4. ข้อ ก และ ง |

23. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น พบว่าอัตราเร็วเปลี่ยนไป 10 เปอร์เซ็นต์ อยากทราบว่าความถี่ของคลื่นผิวน้ำจะเปลี่ยนไปกี่เปอร์เซ็นต์ (เฉลย)

- | | | | |
|--------|--------|---------|---------|
| 1. 0 % | 2. 5 % | 3. 10 % | 4. 15 % |
|--------|--------|---------|---------|

24. คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากเขตนน้ำลึกไปน้ำตื้นโดยมุมตกกระทบทำมุม 45 องศา กับเส้นปกติ โดยความยาวคลื่นในเขตนน้ำลึกมีค่าเป็น $\sqrt{2}$ เท่าของเขตนน้ำตื้น จงหาว่ามุมหักเหจะมีทิศทำมุมกับเส้นปกติเท่าใด (เฉลย)

- | | | | |
|--------|--------|--------|---------|
| 1. 30° | 2. 45° | 3. 90° | 4. 100° |
|--------|--------|--------|---------|

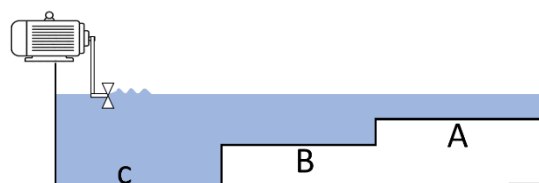
25. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น อัตราเร็วเปลี่ยนจาก 10 เมตรต่อวินาทีเป็น 8 เมตรต่อวินาที ถ้าคลื่นน้ำตื้นมีความยาวคลื่น 1 เมตร ความยาวคลื่นของคลื่นน้ำลึกจะเป็นเท่าไร [\(เฉลย\)](#)

1. 0.8 m 2. 1.0 m 3. 1.25 m 4. 1.5 m

26. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านเขตรอยต่อตัวกลางจากเขตนน้ำลึกไปน้ำตื้น โดยความยาวคลื่นของน้ำลึกเป็น 2 เท่าของน้ำตื้น จงหาอัตราส่วนของอัตราเร็วคลื่นของน้ำลึกกับน้ำตื้น [\(เฉลย\)](#)

1. 2 : 1 2. 4 : 1 3. 3 : 1 4. 3 : 2

27. จากรูป แสดงภาตคลื่นซึ่งแบ่งเป็น 3 บริเวณ A , B และ C โดยที่ A ตื้นที่สุด และ C ลึกที่สุด เมื่อเกิดการกระตุ้นให้เกิดคลื่นด้วยมอเตอร์ ทำให้เกิดคลื่นผิวน้ำจาก C ไป B และ A ตามลำดับ ข้อใดถูกต้อง [\(เฉลย\)](#)

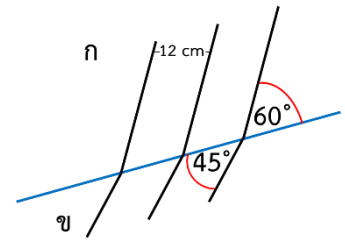


1. บริเวณ C คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด 2. บริเวณ B คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด
3. บริเวณ A คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วต่ำที่สุด 4. บริเวณ A , B และ V คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็วเท่ากัน

28. จากข้อ 27 ถ้าบริเวณ A คลื่นผิวน้ำมีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตรและอัตราเร็วคลื่น 5 เซนติเมตรต่อวินาที แสดงว่ามอเตอร์กระตุ้นผิวน้ำด้วยความถี่เท่าใด [\(เฉลย\)](#)

1. 2.0 Hz 2. 2.5 Hz 3. 3.0 Hz 4. 3.5 Hz

29. คลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีความลึกต่างกันเกิดปรากฏการณ์ดังรูป ในบริเวณ ก หน้าคลื่นอยู่ห่างกัน 12 เซนติเมตร ในบริเวณ ข คลื่นมีความเร็ว $6\sqrt{2}$ เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าต้นกำเนิดคลื่นมาจากบริเวณ ก ความถี่ของต้นกำเนิดคลื่นมีค่าเท่าไร [\(เฉลย\)](#)



1. $\frac{\sqrt{3}}{2}$ Hz
2. $\frac{4}{\sqrt{3}}$ Hz
3. $\frac{12}{\sqrt{3}}$ Hz
4. $\frac{1}{\sqrt{3}}$ Hz

30. คลื่นน้ำแบบต่อเนื่องที่มีหน้าคลื่นตรง เคลื่อนที่ผ่านรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้นแล้วทำให้เกิดคลื่นหักเหหน้าคลื่นตรง ถ้าแนวทางเดินของคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อระหว่างตัวกลางเท่ากับ 30° จงหามุมหักเห ถ้าความยาวคลื่นในน้ำตื้นลดลงเป็น $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของความยาวคลื่นในน้ำลึก [\(เฉลย\)](#)

1. 15°
2. 30°
3. 45°
4. 60°

31. คลื่นน้ำเคลื่อนที่จากน้ำตื้นไปน้ำลึก ถ้ามุมตกกระทบและมุมหักเหเท่ากับ 30° และ 45° ตามลำดับและความยาวคลื่นในน้ำตื้นเท่ากับ 2 เซนติเมตร จงหาความยาวคลื่นในน้ำลึกในหน่วยเซนติเมตร [\(เฉลย\)](#)

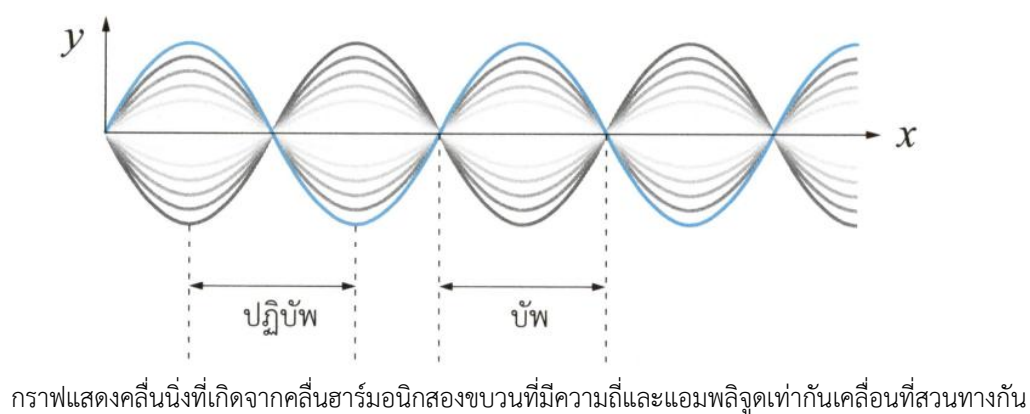
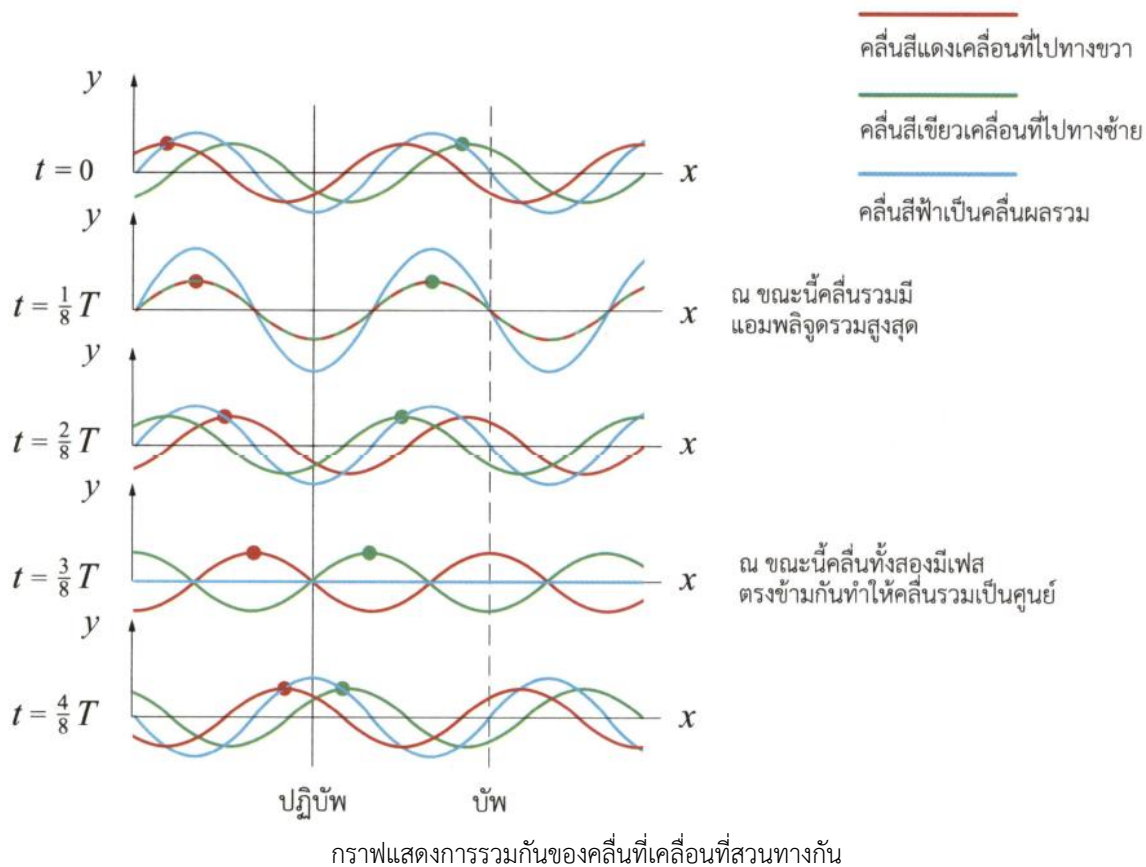
1. 2 cm
2. $\sqrt{2}$ cm
3. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ cm
4. $2\sqrt{2}$ cm

กิจกรรม การหักเห

ให้นักเรียนหาวิธีพิสูจน์สมการกฎการหักเหของคลื่น $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$

9.4.3 การแทรกสอดของคลื่น (Interference of wave)

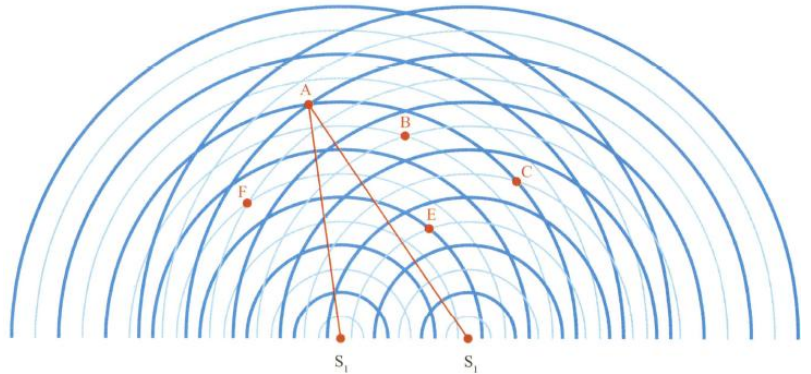
เมื่อคลื่น 2 คลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่น 2 แห่งมารวมกันในตัวกลางชนิดเดียวกัน จะเกิดการแทรกสอดของคลื่นขึ้น เมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่มาพบกัน จะเกิดการรวมกันตามหลักการซ้อนทับของคลื่นโดยเราจะพิจารณากรณีที่ คลื่นทั้งสองขบวนมีความยาวคลื่น ความถี่ และแอมพลิจูดเท่ากัน และถ้าหากว่าแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองปล่อยคลื่นที่มีความถี่ ความเร็ว แอมพลิจูด เท่ากัน ความต่างเฟสของคลื่นทั้งสองคงตัว จะเรียกแหล่งกำเนิดทั้งสองว่า แหล่งกำเนิดอาพันธ์ (Coherent source)



แหล่งกำเนิดสองแหล่งอยู่ในตัวกลางเดียวกัน ให้คลื่นต่อเนื่องที่มีแอมพลิจูด ความถี่ และความยาวคลื่นเท่ากัน มีเฟสเริ่มต้นตรงกัน หรือต่างกันคงที่ จัดเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ (coherent sources) เมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นนี้แผ่คลื่นออกมา คลื่นที่เคลื่อนที่ออกมาเกิดการแทรกสอดกัน โดยบางจุดจะเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันสนิทเป็น **จุดบัพ (Node)** ค่าการกระจัดลัพธ์ของตัวกลางที่จุดนี้จะเป็นศูนย์ และเกิดจุดที่มีการแทรกสอดแบบเสริมกันเป็น **จุดปฏิบัพ (Antinode)** ค่าการกระจัดลัพธ์ของตัวกลางที่จุดนี้จะมีขนาดเป็นสองเท่าของแอมพลิจูดของคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ ที่เหลือก็จะเป็นการแทรกสอดที่ไม่ได้หักล้างกันสนิทหรือเสริมกันมากที่สุด



การแทรกสอดของคลื่นอาพันธ์



จุด A ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	
จุด B ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	
จุด C ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	
จุด D ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	
จุด E ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	
จุด F ห่างจาก $S_1 = \dots\dots\dots \lambda$	$S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	ผลต่างจาก $S_1 S_2 = \dots\dots\dots \lambda$	

1. การแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference)

การแทรกสอดแบบเสริมเกิดขึ้นเมื่อ สันคลื่นกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นกับท้องคลื่น เดินทางมาพบกันทำให้การกระจัดของคลื่นมีค่ามากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งการแทรกสอดแบบเสริม หรือ ตำแหน่งปฏิบัพ (Antinode)

สูตรสำหรับการหาตำแหน่งแนวการแทรกสอดที่จุด P

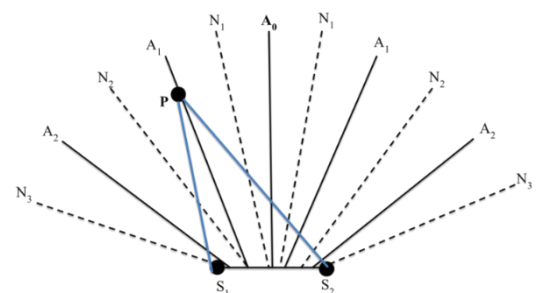
$$|S_1 P - S_2 P| = n\lambda \quad ; \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$S_1 P$ คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 1 ถึงจุด P

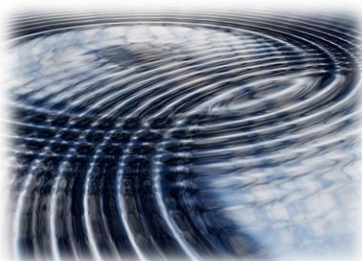
$S_2 P$ คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 2 ถึงจุด P

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดทั้งสอง

n คือ ตำแหน่งแนวปฏิบัพใด ๆ



****** การแทรกสอดแบบเสริมจะเกิดขึ้นก่อนเมื่อคลื่นทั้งสองมีเฟสต่างกันทุก ๆ 360° หรือ ทุกระยะ 1λ



2. การแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference)

การแทรกสอดแบบหักล้างเกิดขึ้นเมื่อ สันคลื่นกับท้องคลื่นเดินทางมาพบกันทำให้การกระจัดของคลื่นมีค่าน้อยที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งการแทรกสอดแบบหักล้าง หรือ ตำแหน่งบัพ

สูตรสำหรับการหาตำแหน่งแนวการแทรกสอดที่จุด Q

$$|S_1Q - S_2Q| = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda ; n = 1, 2, 3, \dots$$

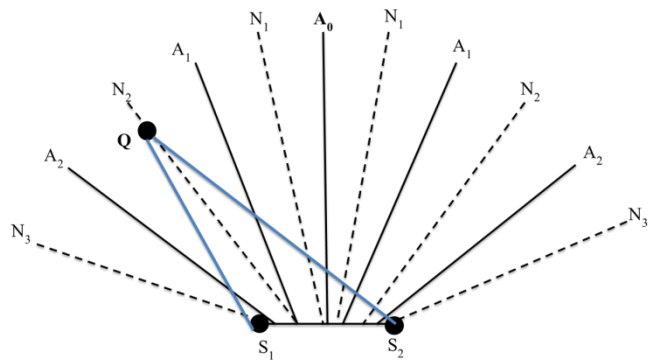
S_1Q คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 1 ถึงจุด Q

S_2Q คือ ระยะห่างระหว่าง แหล่งกำเนิดคลื่นที่ 2 ถึงจุด Q

λ คือ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดทั้งสอง

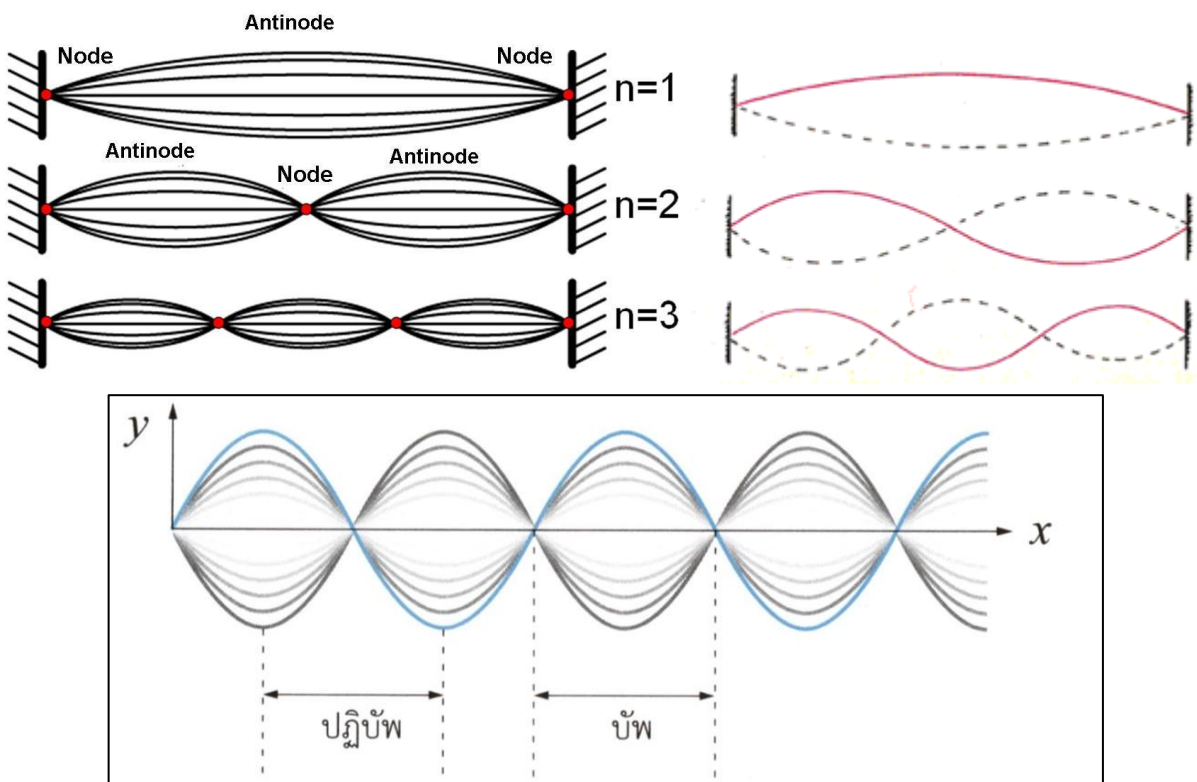
n คือ ตำแหน่งแนวบัพใดๆ

เรียก $|S_1P - S_2P|$ และ $|S_1Q - S_2Q|$ ว่า ผลต่างระยะทาง (path difference)



คลื่นนิ่ง (standing wave)

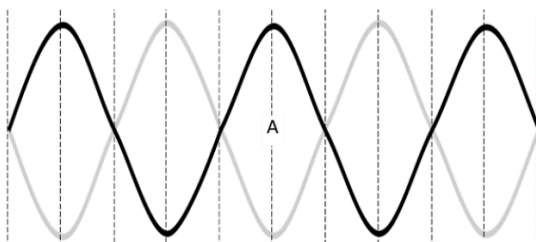
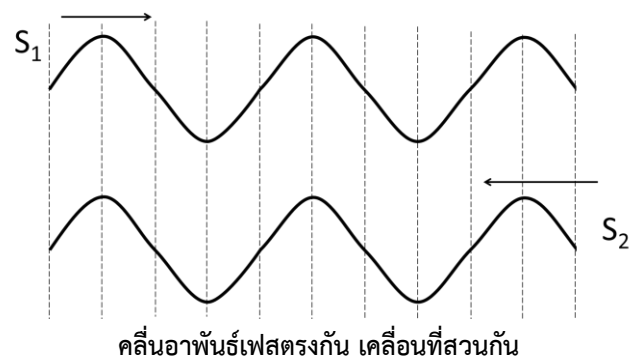
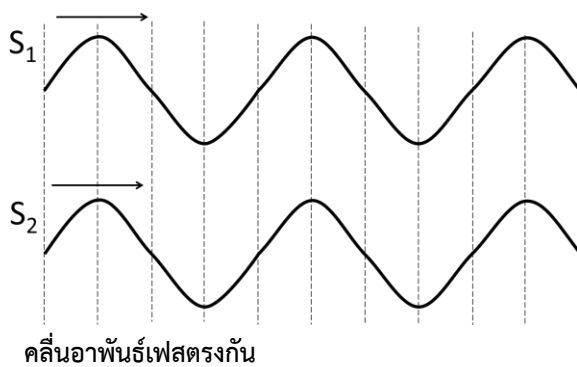
คลื่นนิ่ง เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากคลื่น 2 ขบวน ที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน มีความยาวคลื่นเท่ากัน มีอัตราเร็วเท่ากัน เคลื่อนที่สวนทางกันไปในแนวเส้นตรงเดียวกัน และเกิดการรวมกันตามหลักการรวมกันของคลื่น ซึ่งพบว่าบางตำแหน่งการกระจัดของคลื่นรวมมีค่าเป็นศูนย์เสมอ เรียกตำแหน่งนี้ว่า**บัพ** (Node : N) และมีบางตำแหน่งการกระจัดของคลื่นรวมมีการกระจัดเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ลบมากที่สุด ไปจนถึงบวกมากที่สุด ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างจุดบัพที่ติดกัน เรียกตำแหน่งนี้ว่า**ปฏิบัพ** (Antinode : A) ดังรูป



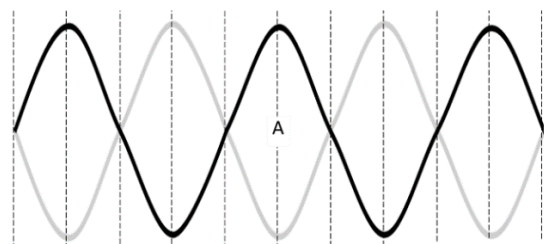
สรุปคลื่นนิ่ง

1. จุดบัพที่อยู่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ
2. จุดปมที่อยู่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/2$ เสมอ
3. จุดบัพและปมที่อยู่ติดกันจะห่างกัน เท่ากับ $\lambda/4$ เสมอ
4. แอมพลิจูดสูงสุดของจุดปมจะเป็นสองเท่าของคลื่นย่อยทั้งสอง
5. คาบของคลื่นนิ่งจะเท่ากับคาบของคลื่นย่อยทั้งสอง

คลื่นนิ่งที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอัตราเฟสตรง และ เฟสตรงข้าม



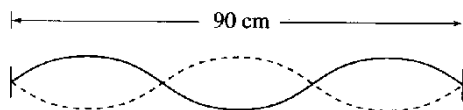
เกิดคลื่นนิ่งโดยตำแหน่งกึ่งกลาง
เป็นแถบการแทรกสอดแบบเสริมเสมอ



เกิดคลื่นนิ่งโดยตำแหน่งกึ่งกลาง
เป็นแถบการแทรกสอดแบบเสริมเสมอ

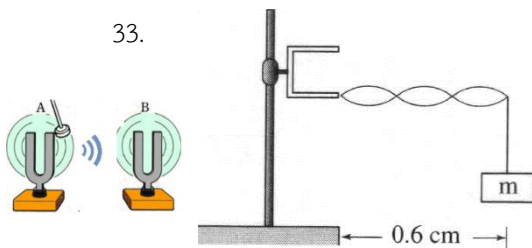
แบบฝึกหัด

32. จากรูป เป็นคลื่นนิ่งในเส้นเชือกที่มีปลายทั้งสองยึดไว้แน่น ถ้าเส้นเชือกยาว 90 เซนติเมตร และความเร็วคลื่นในเส้นเชือกขณะนั้นเท่ากับ 2.4×10^2 เมตรต่อวินาที จงหาความถี่ของคลื่น (เฉลย)



1. 200 Hz 2. 267 Hz
3. 400 Hz 4. 800 Hz

33.



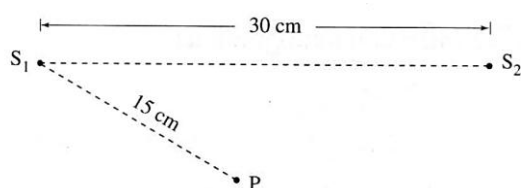
เส้นด้ายปลายด้านหนึ่งผูกติดกับส้อมเสียงที่สั่นด้วยความถี่ 250 Hz ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งผ่านรอกและหึงมวลถ่วงให้เส้นด้ายตึง เมื่อส้อมเสียงสั่นปรากฏเกิดคลื่นนิ่ง ดังรูป แสดงว่าอัตราเร็วคลื่นในเส้นด้ายเป็นเท่าใด (เฉลย)

1. 50 m/s 2. 100 m/s 3. 150 m/s 4. 200 m/s

34. คลื่นต่อเนื่องเหมือนกันทุกประการ เคลื่อนที่สวนกันแล้วเกิดคลื่นนิ่ง ถ้าคลื่นทั้งสองมีแอมพลิจูด 3 เซนติเมตร คลื่นนิ่งจะมีแอมพลิจูดเท่าใด (เฉลย)

1. 0 เซนติเมตร 2. 3 เซนติเมตร 3. 6 เซนติเมตร 4. 9 เซนติเมตร

35. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์บนผิวน้ำซึ่งมีเฟสตรงกัน มีความยาวคลื่น 3 เซนติเมตรทำให้เกิดคลื่นนิ่งบนผิวน้ำ จุด P เป็นจุดใด ๆ บนผิวน้ำห่างจาก S_1 เป็นระยะ 15 เซนติเมตร จุด P จะต้องอยู่ห่างจาก S_2 เป็นระยะเท่าไร จึงจะมีแนวปฏิบัติ A_3 ผ่านพอดี (เฉลย)



1. 27 cm 2. 24 cm
3. 21 cm 4. 18 cm

36. แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำอาพันธ์ให้หน้าคลื่นวงกลมสองแหล่งอยู่ห่างกัน 10 เซนติเมตร มีความยาวคลื่น 2 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งหนึ่งห่างจากแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองเป็นระยะ 10 เซนติเมตรและ 19 เซนติเมตร ตามลำดับ จะอยู่บนแนวบัพหรือปฏิบัพที่เท่าไรนับจากแนวกลาง ([เฉลย](#))

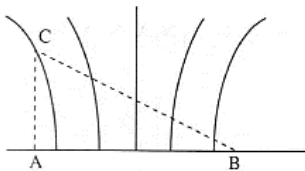
1. ปฏิบัพที่ 4 2. บัพที่ 4 3. ปฏิบัพที่ 5 4. บัพที่ 5

37. S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์บนผิวน้ำเฟสตรงกัน คลื่นผิวน้ำมีอัตราเร็ว 19 เซนติเมตรต่อวินาที มีความถี่ 9.5 เฮิรตซ์ จุด P อยู่บนแนว A_1 อยากทราบว่าจุด P จะต้องอยู่ห่างจาก S_1 อย่างน้อยที่สุดเท่าไร กำหนดให้ $S_1S_2 = 12$ เซนติเมตร ([เฉลย](#))

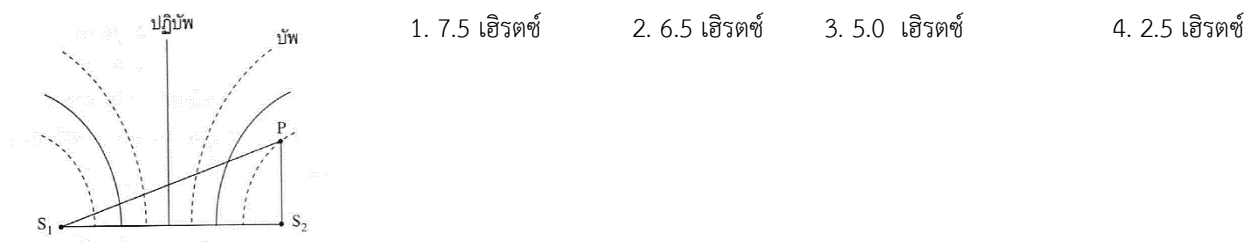
1. 4 เซนติเมตร 2. 5 เซนติเมตร 3. 12 เซนติเมตร 4. 15 เซนติเมตร

38. แหล่งกำเนิดคลื่นน้ำสร้างคลื่นน้ำที่สองตำแหน่ง A และ B มีความยาวคลื่น 1.5 เซนติเมตร และได้แนวของเส้นปฏิบัพดังแสดงในรูป อยากทราบว่า AC และ BC มีความยาวต่างกันเท่าไร ([เฉลย](#))

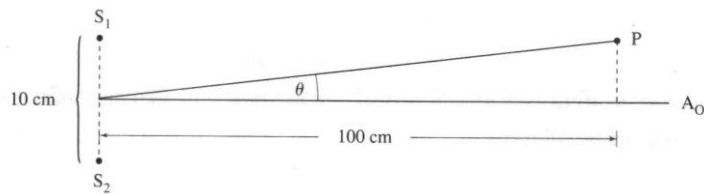
1. 1.5 cm 2. 3.0 cm 3. 4.5 cm 4. 6.0 cm



39. จากรูป เป็นภาพการแทรกสอดของคลื่นผิวน้ำที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ S_1 และ S_2 โดยมี P เป็น จุดใด ๆ บนแนวเส้นบัพ $S_1P = 15$ เซนติเมตร $S_2P = 5$ เซนติเมตร ถ้าอัตราเร็วของคลื่นทั้งสองเท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองมีความถี่กี่เฮิรตซ์ ([เฉลย](#))

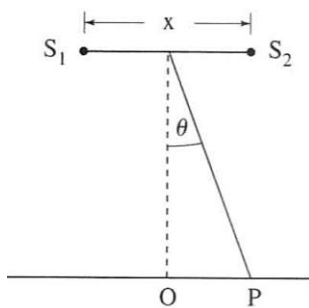


40. จากรูป S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นผิวน้ำอาพันธ์เฟสตรงกัน ห่างกัน 10 เซนติเมตร ปล่อยคลื่นน้ำ มีความยาวคลื่น 4 เซนติเมตรออกมาแทรกสอดกัน จุด P อยู่ห่างจากแนว S_1S_2 เป็นระยะ 100 เซนติเมตร ถ้าจุด P มีแนวปฏิบัติ A_2 ผ่านพอดี จงประมาณค่ามุม θ ต่อไปนี้ [\(เฉลย\)](#)



1. 60° 2. 53° 3. 45° 4. 37°

41. S_1 และ S_2 เป็นแหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ λ จุด P เป็นจุดที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันจุดที่ 2 จากจุดกึ่งกลาง มุม θ จะมีค่าเท่าใด [\(เฉลย\)](#)



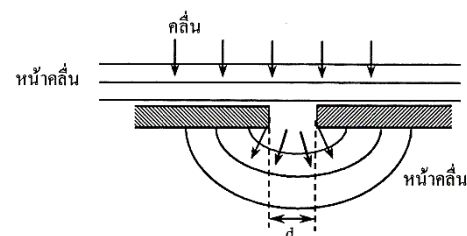
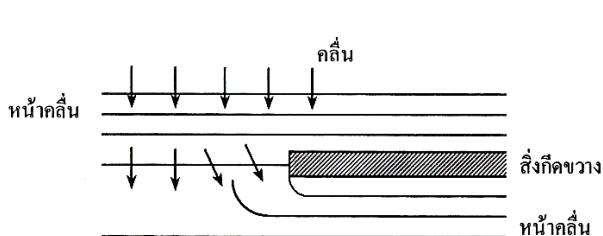
1. $\sin^{-1}\left(\frac{2\lambda}{x}\right)$ 2. $\sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{x}\right)$
 3. $\sin^{-1}\left(\frac{5\lambda}{2x}\right)$ 4. $\sin^{-1}\left(\frac{3\lambda}{2x}\right)$

9.4.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่น คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางในตัวกลางชนิดเดียวกัน โดยคลื่นส่วนหนึ่งจะถูกกั้นด้วยสิ่งกีดขวาง แต่บางส่วนจะผ่านสิ่งกีดขวางไปตามขอบของสิ่งกีดขวางนั้น ทำให้คลื่นส่วนนี้สามารถเคลื่อนที่ไปด้านหลังสิ่งกีดขวางได้



การเลี้ยวเบนของคลื่นผ่านช่องแคบเดียว

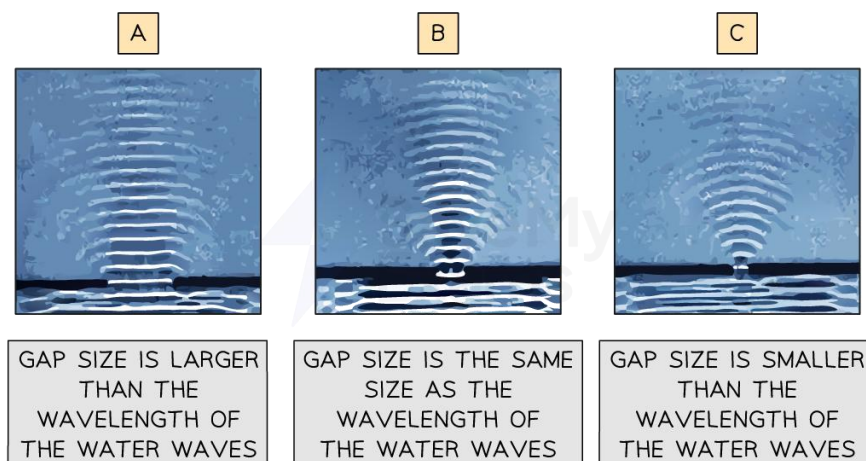


รูป แสดงคลื่นผ่านสิ่งกีดขวางรูปแสดงคลื่นผ่านช่องเปิด

กรณีที่ 1 ถ้า $d \approx \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นส่วนโค้งของวงกลมมากขึ้น โดยในแนวใกล้สุด $n = 1$ แนวบัพที่ 1 จะทับแนวของสิ่งกีดขวางพอดี จะทำให้มองไม่เห็นแนวบัพ เหมือนในรูป.....

กรณีที่ 1 ถ้า $d \gg \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นเส้นตรง ยกเว้นหน้าคลื่นบริเวณขอบทั้งสองข้างของช่องแคบ โดยในแนวใกล้สุด $n > 1$ จะเกิดแนวบัพมากกว่า 1 แนว เหมือนในรูป.....

กรณีที่ 3 ถ้า $d \ll \lambda$ หน้าคลื่นที่ผ่านช่องแคบออกมาจะเป็นส่วนโค้งวงกลม โดยในแนวใกล้สุด $n < 1$ ไม่มีแนวบัพ เหมือนในรูป.....



พิจารณารูป แสดงการเลี้ยวเบนของคลื่นเมื่อผ่านช่องแคบเดี่ยว ถ้าจุด P เป็นจุดที่มีการแทรกสอดแบบหักล้างกัน จะทำให้เกิดแนวบัพ

ถ้าจุด P เป็นจุด ๆ หนึ่งบนแนวบัพ

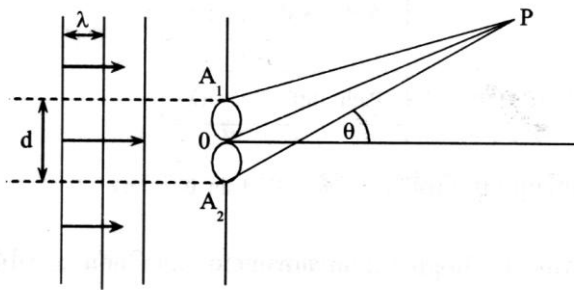
$$|A_1P - A_2P| = n\lambda ; n = 1, 2, 3, 4, \dots$$

$$\text{หรือ } d \sin \theta = n\lambda$$

ถ้าจุด P เป็นจุด ๆ หนึ่งบนแนวปฏิบัพ

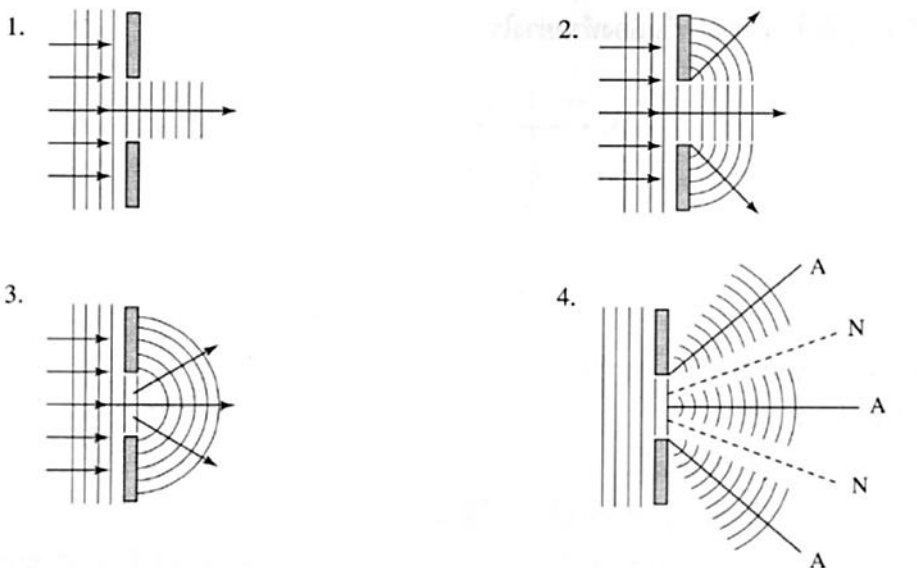
$$|A_1P - A_2P| = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda ; n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$$

$$\text{หรือ } d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$



แบบฝึกหัด

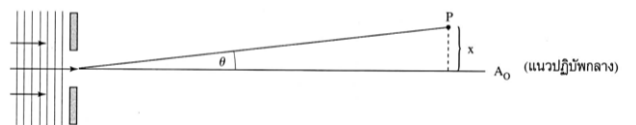
42. คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านสลิตเดี่ยวมีความกว้าง 30 เซนติเมตร โดยมีอัตราเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ความถี่ 20 เฮิรตซ์ คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่าน สลิตเดี่ยวไปแล้วจะมีลักษณะอย่างไร [\(เฉลย\)](#)



43. จากข้อ 42 ถ้าสลิตเดี่ยวมีความกว้าง 2 เซนติเมตร คลื่นน้ำมีอัตราเร็ว 20 เซนติเมตรต่อวินาที และมีความถี่ 4 Hz คลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านสลิตเดี่ยวไปแล้วจะมีลักษณะตามข้อใด [\(เฉลย\)](#)

1. เหมือนรูปข้อ 1
2. เหมือนรูปข้อ 2
3. เหมือนรูปข้อ 3
4. เหมือนรูปข้อ 4

44. จากรูป คลื่นผิวน้ำหน้าตรงความยาวคลื่น 1 เซนติเมตร เคลื่อนที่ผ่านช่องซึ่งมีความกว้าง 4 เซนติเมตร ทำให้เกิดแนวบัพและปฏิบัพปรากฏว่าจุด P อยู่บนแนวบัพที่ 2 (N_2) จงคำนวณหามุม θ (เฉลย)



1. 15°
2. 30°
3. 37°
4. 45°



คำถามท้ายบท

1. ความเร็วคลื่นในเส้นเชือกแตกต่างจากความเร็วอนุภาคเล็กในเส้นเชือกอย่างไร
2. คลื่นผิวน้ำในน้ำที่มีความลึกคงตัว และน้อยกว่าความยาวคลื่นจะมีความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อความถี่ของคลื่นเป็นสองเท่าของความถี่เดิม ความเร็วของคลื่นมีค่าคงตัว
3. อัตราเร็วของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าและผ่านตัวกลางเดิม
4. เชือกเส้นใหญ่มีมวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวมากกว่าเชือกเส้นเล็ก เมื่อนำมาต่อกันให้คลื่นผ่านจากเชือกเส้นใหญ่เข้าสู่เชือกเส้นเล็ก อัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น เปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร

5. คลื่นสองลูกเคลื่อนที่ในเชือกเข้าหากัน เมื่อพบกันจะเกิดการสะท้อนจากคลื่นอีกลูกหนึ่งหรือไม่ อธิบาย
6. เมื่อคลื่นมาซ้อนทับกัน เงื่อนไขต้องเป็นอย่างไรเมื่อ
- ก. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากกว่าคลื่นที่มารวมกัน
 - ข. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าน้อยกว่าคลื่นที่มารวมกัน
 - ค. แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่าเท่ากับศูนย์
7. ในการแทรกสอดของคลื่นแบบเสริมและแบบหักล้าง พลังงานเพิ่มขึ้นหรือสูญหายไปหรือไม่ อธิบาย
8. คลื่นสองคลื่นความถี่เท่ากัน อยู่ในตัวกลางเดียวกัน แต่แอมพลิจูดต่างกัน เมื่อมาแทรกสอดกันเฟสของคลื่นทั้งสองต้องต่างกันเท่าไร จึงจะทำให้แอมพลิจูดของคลื่นรวมมีค่ามากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับและค่าแอมพลิจูดรวมของคลื่นในแต่ละกรณีเป็นเท่าไร
9. จากภาพแสดงคลื่นในเชือกกำลังเคลื่อนไปทางซ้ายด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที A และ B เป็นอนุภาคเล็กในเส้นเชือก



จุด A และ B เคลื่อนที่อย่างไร และความเร็วของจุดทั้งสองเปลี่ยนแปลงอย่างไร

10. ดึงสายยางท่อน้ำเส้นเล็กให้ตึง ดึงสายยางให้หล่น สังเกตลูกคลื่นที่เกิดขึ้นในสายยาง อัตราเร็วของลูกคลื่นในสายยางจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เมื่อ
- ก. ดึงสายยางให้ตึงมากขึ้น
 - ข. กรอกรน้ำให้เต็มสายยาง
11. ความยาวคลื่นในเส้นเชือกมีความสัมพันธ์กับสิ่งใดต่อไปนี้ ความยาวเชือก แรงดึงในเส้นเชือก มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเชือก จงอธิบายความสัมพันธ์นั้น
12. คลื่นผิวน้ำผ่านเสาที่ปักอยู่ในน้ำด้วยความเร็ว 2.8 เมตรต่อวินาที และมีสันคลื่นอยู่ห่างกัน 5 เมตร ระดับน้ำที่เสาจะกระเพื่อมขึ้นลงด้วยความถี่เท่าไร
13. ใบบัลลอยในน้ำเมื่อมีคลื่นผ่านจะกระเพื่อมขึ้นลง 15 รอบในเวลา 0.5 วินาทีและสันคลื่นห่างกัน 2 เมตร อัตราเร็วคลื่นในน้ำขณะนั้นเป็นเท่าไร